

論文

津波発生時における避難行動開始モデルの提案とその適用

早川 哲史*・今村 文彦*

Model of the determination of tsunami evacuation and its application

Tetsushi HAYAKAWA* and Fumihiko IMAMURA*

Abstract

A well-designed system for evacuation after emergency warning issues is necessary to reduce the loss of lives that results from the destruction caused by tsunamis. Even though safety zones in elevated areas have been prepared by central and/or local governments, the routes to these zones have not been well publicized. A lack of tools to evaluate evacuation systems with human behavior or response has delayed finding solutions to the problems. The aim of the present study is, therefore, to develop a model to estimate the starting time of evacuation at several stages by using the quantification method of multi-variate analysis. The parameters in the model, called category scores, could be determined by the data on the tsunami evacuations in the past. Provided the earthquake intensity, location, experiences and time zone at each region, the ratio of the evacuation and its starting time can be estimated and be compared with the tsunami arrival time, which is useful to evaluate the present system against the tsunami attack. We applied the model to Miyagi prefecture along the coast and discuss the risk of the tsunami attacks.

キーワード：避難開始, 津波災害, 数量化分析, 危険度評価

Key words : starting evacuation, tsunami disaster, the quantification method, evaluation of risk

* 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター
Disaster Control Research Center, Graduate School of
Engineering, Tohoku University

本論文に対する討論は平成14年11月末日まで受け付ける。

1. はじめに

「どのような要因と情報提供により」、「どの程度の割合の人が」身の危険を感じて避難行動を開始するのかわかることは大変重要である。これにより適切な災害情報の提供が可能となり、迅速な避難行動をとることができる。さらに対象地域の防災体制・情報伝達体制に住民意識の現状を与えれば現在の避難システムを評価することも可能である。

河田・長谷川(1994)は前年に発生した北海道南西沖地震の調査結果をふまえて津波に対する避難マニュアルの作成を提案している。この中ではマニュアル作成に必要な構成要素とその普及方法について議論されており、「住民が津波の特徴を知る」ということが最も重要であるということが述べられているが、提案にとどまっておらず定量的な解析までは行われていない。また島田・他(1999)、山本・他(1999)は津波被災地における意識構造を分析した上で避難シミュレーションを行い、時間に着目した簡便の評価法を提案している。しかしいずれにおいても避難開始時間については一律に設定しており、詳しく調査しているわけではない。及川・片田(1999)は洪水時の避難行動における過去の被害経験の影響について議論しているが、津波災害の場合には経験だけではなく発生時の状況や入力情報などの影響も合わせて考える必要がある。

その中で矢部(2000)は情報提供・認知の問題やインターネットなどの情報通信インフラの整備を意識した研究を行っている。しかしこれも洪水氾濫特性に関するものであり、避難開始時間までの所要時間に関しては今後の課題として挙げているにとどまっている。

以上の研究を整理すると、避難行動を開始する要因として経験、情報、外力の状況などが挙げられているが、それらの評価や定量的な解析は行われていないのが現状である。

避難システムやソフト対策の評価については永川・今村(2000)が過去の津波避難の実態を数量化分析し、現在の津波防災体制を推定避難時間という尺度で地域毎に評価した。その中では来襲す

るであろう津波の到達時間と予想される避難開始時間の差として、ソフト対策を中心とした防災力の評価を行った。この評価方法によれば具体的な数値(時間)で議論できるという利点もあるが、対象とする津波が異なったりあるいは情報提供のタイミングが違ったりすると、その評価が大きく変化するという問題点があった。また条件によっては全員が避難行動を開始するとは限らない場合があり、適用が限定されるという課題もあった。

そこで本研究では具体的な時間を設定するのではなく、どの要因と情報提供段階でどの程度の割合の人が避難行動を開始したのかをモデル化し、さらに各地域での防災体制の現状を入力することによりシステムを評価する方法を検討する。その際、具体的に地震発生後からの各要因と情報提供にかかる時間を与えれば、各段階の総和を避難行動開始時間の期待値として求めることも可能である。

本研究では、過去の調査結果と本調査結果を利用して災害情報と避難行動の開始に関する基礎調査を行う。これにより情報伝達整備においてどのような情報が重要であるのかが明確になり、さらに避難行動シミュレーションにおける初期条件としての避難開始時間を合理的に設定することができる。そのために過去の津波調査から避難行動のきっかけとなった項目を整理し、その項目の重要度をアンケート調査・ヒアリング調査の結果を加えて推定し、避難行動開始モデルを構築する。Fig. 1に研究のフローをまとめる。

現状での津波災害時に対する一般認識を把握し、従来における津波防災力評価方法(永川・今村, 2000)を再検討した上で、津波発生時における避難行動開始モデルを提案する。そのために災害記録等を用いた文献調査を行い、さらに今回独自に行ったヒアリング調査やアンケート調査の結果と合わせて津波災害時における「様々な状況」、「様々な入力情報」の存在とそれらの因果関係を明らかにする。そしてそれらをふまえて「情報提供段階別避難率」に着目した避難行動開始モデルを作成し、さらに各地域での防災体制の現状を入力することにより、そこでのシステムを評価できる方法

を検討する。最後にその評価方法を実際に適用し、結果について考察する。

2. 既往津波の調査結果

ここでは過去の津波災害の事例研究を行い、どのような情報や要因がどのような段階を経て避難行動に結びつくのかを整理する。取り上げた事例は

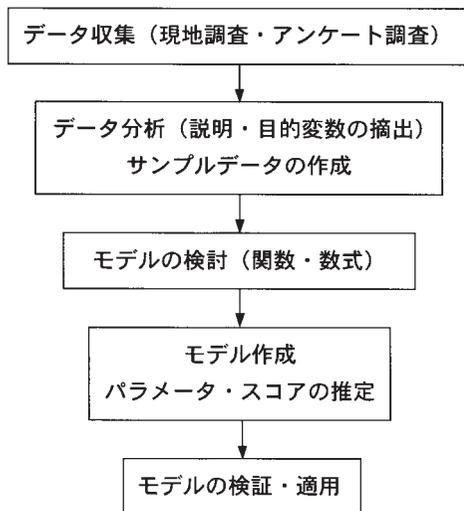


Fig. 1 Flow of the estimation of starting time of tsunami evacuation

1983 年日本海中部地震津波, 1993 年北海道南西沖地震津波, 1994 年北海道東方沖地震津波, 1998 年石垣南方沖地震津波の 4 例である。

2.1 日本海中部地震津波－被災直後の認識変化－

1983 (昭和 58) 年 5 月 26 日 11 時 59 分に男鹿半島沖から津軽海峡の西側にかけての広い範囲を震源域とする M 7.7 の地震が発生した。震源域が陸域に近かったために地震によって発生した津波は、早いところで地震の発生からわずか 7 分後に来襲した。当時沿岸で逃げ遅れた多くの人が津波の犠牲になり、全体の死者 104 名のうち 100 名が津波によるものであった。この本震時と約 1 ヶ月後の 6 月 21 日に発生した M 7.1 の最大余震時においていずれも津波警報が発令された。そのときの能代市民の津波意識の変化についての記録 (都市防災研究所, 1996) を Fig. 2 に示す。なお、図中で「大きな被害をもたらすとは思わなかった」との回答は、津波が来ると思ったがそれほど大きな被害をもたらすとは思わなかったという意味である。

この図より、本震発生時には地震後に津波が来襲するという意識がなく、強い地震が発生したの

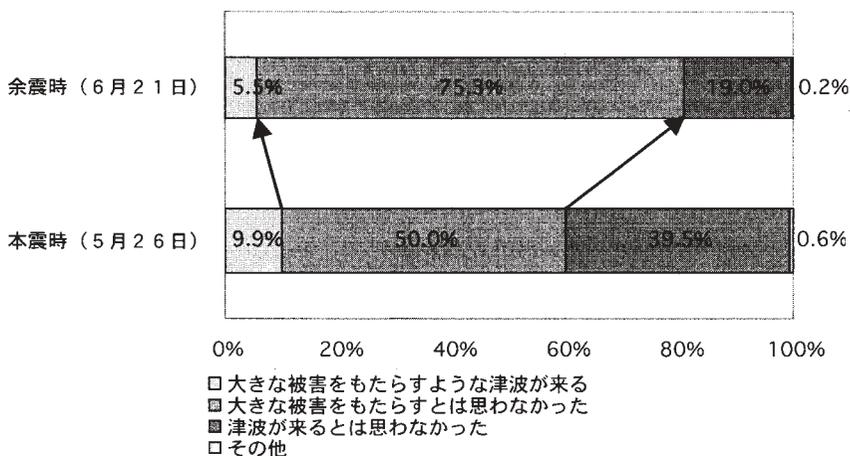


Fig. 2 Human behavior on evacuation at the main shock and aftershock in the case of the 1983 Japan sea earthquake tsunami. Modified after Urban Disaster Research Institute (1996)

にもかかわらず4割の住民は津波が来襲するとは思わなかったと答えている。一方、余震時には本震時の経験があるため、「津波が来るとは思わなかった」と回答した人の割合が大幅に減少している。ただし、本震時より揺れが小さかったために、「大きな被害をもたらすような津波が来ると思った」という回答率は低くなり、その結果「津波が来ると思ったがそれほど大きな被害をもたらすとは思わなかった」という回答をした人の割合が増加している。このように、Fig. 2は被害をもたらすような津波を実際に経験することにより意識が大きく変化することを示した事例になる。

2.2 北海道南西沖地震津波一過去の経験と行動一

1993(平成5)年7月12日22時17分にM7.8の地震が発生した。震源域が奥尻島や渡島半島西岸に近かったために早いところでは地震発生後3分程度で津波が来襲しており、甚大なる人的被害および家屋被害を受けた。現地調査によると津波高さは奥尻島では最大約30m、渡島半島西岸でも最大7~8mに達した。また特に奥尻島の青苗地区は地震、津波そして火災によって壊滅的な被害を受けた。被害は全体で死者・行方不明者230名、負傷者323名などであった。

この地震に関する調査書(東京大学社会情報研究所, 1994)から奥尻町と渡島半島の大成町および島牧村の避難行動や過去の経験の影響を比較した結果をFig. 3, 4に示す。奥尻島は10年前の日本海中部地震のときにも津波が来襲しており、青苗地区では2人の犠牲者が出ている。一方、大成町や島牧村では大きな被害はなく、しかも、震源が北秋田沖であり地震の揺れから津波来襲までの時間が北海道南西沖地震津波の場合よりも長かった。

Fig. 3より、10年前の日本海中部地震津波の経験を活かして行動を取ることができたという回答が奥尻島では回答者中の過半数にのぼっており、過去の経験も被害の程度によってその影響や持続性が大きく異なることがわかる。一方、島牧村ではこの10年前の経験について、その影響で「す

ばやく避難できた」という回答よりも「かえって避難が遅れた」という回答の方が多くなっており、また大成町では半数近くの人が10年前の地震・津波は今回の地震や津波とは無関係であると、つまり過去の経験あるいは教訓として活かせなかったと回答している。日本海中部地震津波の経験について「かえって避難が遅れた」、「北海道南西沖地震津波とは関係ない」、そして日本海中部地震の経験がないという回答を合計すると島牧村、大成町では7割以上になっており、過去の経験は強い影響を与えるものの、それは個人の経験であり、これによる判断が正しく役に立つとは限らないことを示唆している。

またFig. 4を見ると、奥尻では経験によって早い行動が促されており、揺れがおさまらないうちに避難行動を取った住民が2割を越えているが、その他の2地域では津波が来てから行動をとった、あるいは避難できなかったりしなかったりしたという住民の割合が大きくなっている。過去の小さな被害体験が過信を招き、行動を遅らせた事例である。

2.3 北海道東方沖地震津波一情報の内容と行動一

1994(平成6)年10月4日22時22分に北海道東方沖において地震が発生し、それに伴って発生した津波が北方4島から本州の太平洋岸を襲った。この地震においては22時36分に三陸沿岸に発令された「津波注意報」が23時34分になって「津波警報」に切り替えられたという経緯がある。当時の津波判定法では沿岸での津波の大きさは地震の規模と震源までの距離の関数として判断されており、津波伝達経路の影響が全く考慮されていなかった。そのため、現実に津波が海岸に到達してからその大きさに驚き、「津波警報」への切り替えとなった。

岩手県大船渡市と宮城県気仙沼市において、「津波注意報」および「津波警報」の発令に対する意識調査(首藤, 1995)が行われており、その結果をFig. 5に示す。注意報発令の段階では津波や避難に関して「海の様子を見てからでよい」、「大

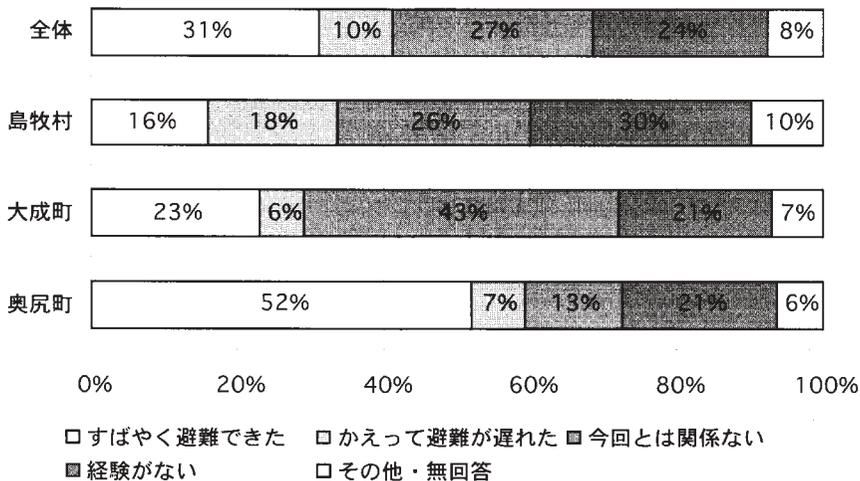


Fig. 3 Human behavior of evacuation in the case of the 1993 Hokkaido SW earthquake tsunami, depending on their experiences. Modified after Institute of Socio-Information and Communication Studies, Tokyo University (1994)

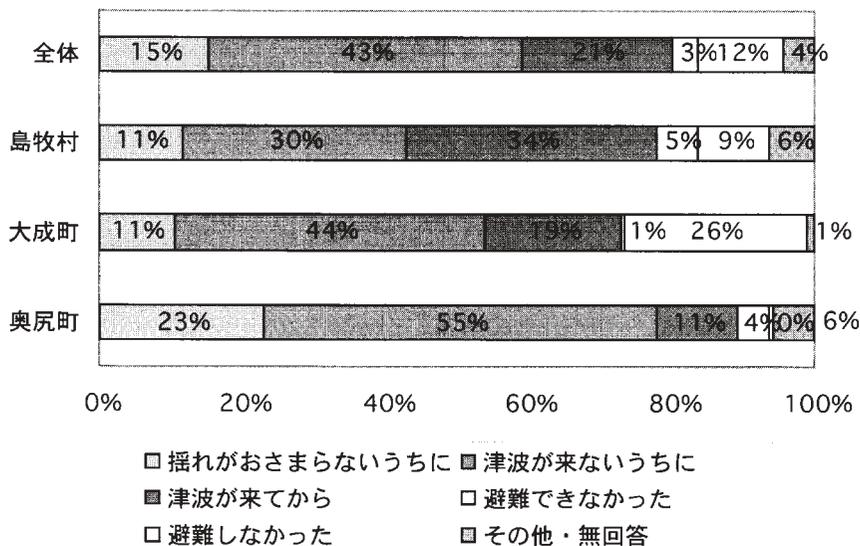


Fig. 4 Starting of evacuation in the case of the 1993 Hokkaido SW earthquake tsunami. Modified after Institute of Socio-Information and Communication Studies, Tokyo University (1994)

きな津波はない」と考える人が多い。警報に切り替わったことで波源に近い大船渡市の方が避難する意識が高まっていることがわかる。このように

情報の内容により対応や行動に大きな差が生まれることを示すよい事例になる。ただし、警報が出ても自己判断により避難を考えない住民の割合が

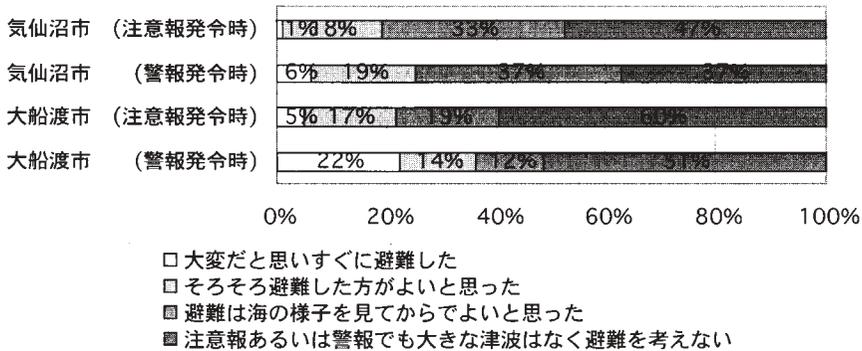


Fig. 5 Human behavior of evacuation in the case of the 1994 Hokkaido east earthquake tsunami. Modified after Shuto (1995)

半数程度いるという問題を浮き彫りにしている。

2.4 石垣島南方沖地震—震度と対応—

1998 (平成 10) 年 5 月 4 日 8 時 30 分頃、石垣島南方沖を震源とする M 7.6 の地震が発生し、8 時 39 分には沖縄気象台から沖縄全域に津波警報が発令された。発表された震度は石垣島で震度 3、沖縄本島で震度 1 であった。この津波警報の発表時における市町村の活動状況を把握するうえで、市町村に対してヒアリング調査が、また住民の災害時における一連の行動を調査する目的で住民に対してはアンケート調査がそれぞれ行われた (亜熱帯研究所, 2000)。調査結果を Fig. 6, 7 にそれぞれ示す。

揺れの程度により、住民の対応が大きく異なっていることがわかる。震度 3 程度であると、屋内にいる人は揺れを感じているはずであり、この場合には、避難行動・準備、情報待ちを含めて何らかの対応をしている住民の割合が震度 1 の場合に比べて 2 倍以上いることがわかる。地震という津波の前兆現象を個人で確認できる場合とできない場合の違いの程度を示している。なお、地域特性として石垣市は 1771 (明和 8) 年の明和大津波で壊滅的な被害を受けており、沖縄本島においても 1960 年のチリ地震津波で大きな被害を受けた

地域が調査対象となっている。明和津波は 230 年前の災害であるが、その被害は甚大であり、未だに沖縄での住民の記憶にあるので、ここでは過去の津波経験レベルとしてはチリ津波の事例と同列に扱うことにする。

3. 避難行動開始モデル

3.1 モデルの設定

2. における過去のデータを整理することより、津波避難に関連する外力及び各種情報提供とその対応を Fig. 8 に示すように分類することが出来た。ここでいう情報とは気象庁から発表される津波情報、該当する地域の防災担当者によって発令される避難勧告だけではなく、地震による揺れおよび周囲の人の勧誘や周囲の状況、さらに津波自体を直接目撃することも含める。これらの情報は地震発生後に時間の経過とともに住民に提供されることになる。それらの情報を受け取った住民は情報を理解し、避難する必要があるかを判断している実態が整理できた。

さらに過去の津波調査により、意志決定における要因として「震度」、「場所」、「津波経験」、「発生時間」の 4 つを挙げることができる。これらの要因の組み合わせによって避難行動の開始段階に違いが出てくると考えられる。そこでここでは数

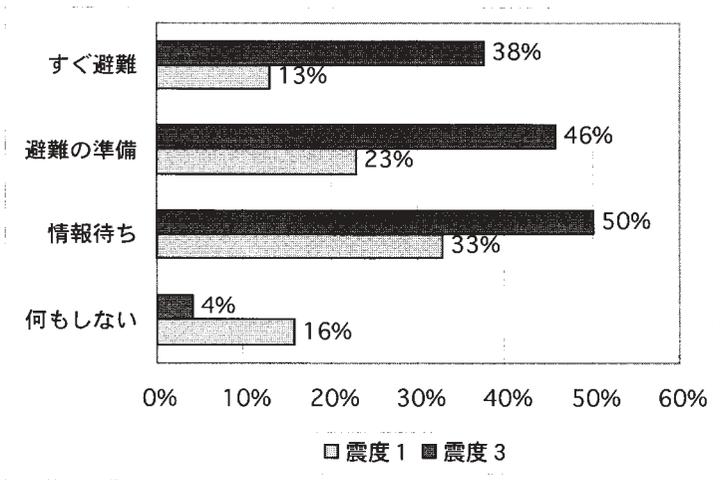


Fig. 6 Human behavior in the case of the 1998 Ishigaki south earthquake tsunami, with the different intensity. Modified after Research Institute for Subtropics (2000)

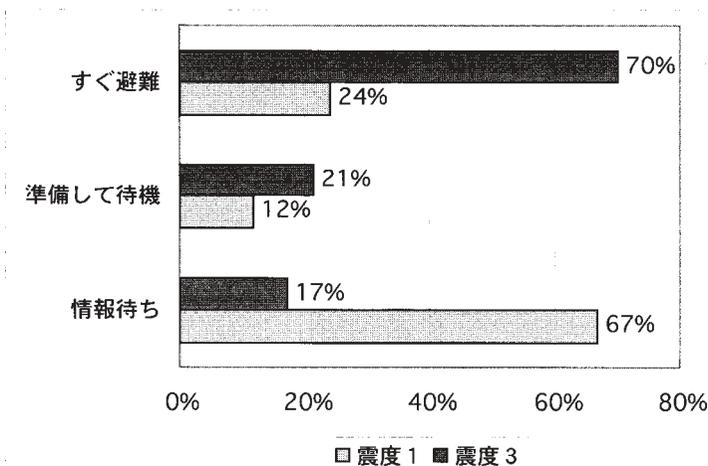


Fig. 7 Human behavior in the case of the 1998 Ishigaki south earthquake tsunami, after receiving the tsunami information. Modified after Research Institute for Subtropics (2000)

量化理論 I 類 (たとえば 菅, 1993) を用いて各情報提供段階における避難率を推定するモデルを検討する。各情報提供段階における避難率が目的変数, 震度の大きさ, 住んでいる場所, 津波経験, 発生時間帯の各要因が説明変数である。

3.2 説明・目的変数の設定とサンプル入力

各情報提供段階における避難開始の割合を左右

する 4 つの主要因である「震度の大きさ」, 「場所」, 「津波経験」, 「発生時間」を, ここではアイテムと呼ぶことにする。さらにこの各アイテムをその程度に応じて Table 1 のようなカテゴリーに分類する。

震度の大きさや災害発生の時間帯は設定しやすいが, 場所や津波経験については定義付けがしにくい。本論文では, 場所に関しては, 標高 10 m

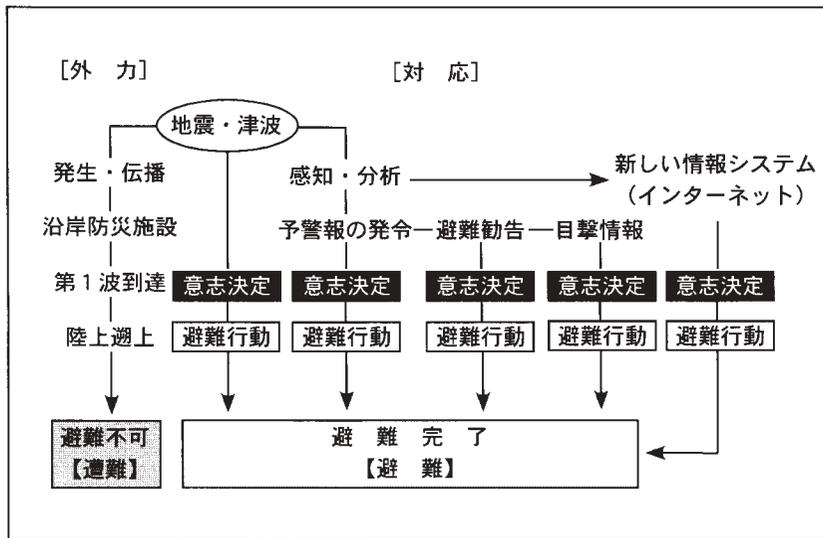


Fig. 8 Process of the action into the evacuation on the tsunami information

Table 1 Items and categories in the proposed model

アイテム	カテゴリー	内容
震度	1：大	震度5以上
	2：小	震度5未満
場所	1：危険	標高10m以上または海岸線から200m以内
	2：安全	両方とも満たさない
経験	1：被害経験あり	津波により人的・家屋被害が出ている
	2：津波経験あり	津波が来襲したが人的・家屋被害は出していない
	3：津波認識なし	津波来襲経験がない、あるいは認識がない
時間帯	1：夜間	非活動時間帯
	2：昼間	活動時間帯

以下あるいは海岸線から 200 m 以内に住居が確認できる場所を「危険」、これら両方の条件を満たさない場合を「安全」とした。また、過去の津波経験についても「被害経験あり」、「津波経験あり」、「津波認識なし」という 3 つのカテゴリーに分類した。

このように設定した各カテゴリーの持つ影響度を反映した各情報における避難率を、数量化理論 I 類を用いて推定するには地震が発生してからの各入力情報による避難率が必要である。これらをサンプルデータと呼ぶことにする。このデータは以下のようにして作成した。

1993 年の北海道南西沖地震の後に調査されたアンケートには具体的な避難開始時間や避難開始

状況が示されており、また 1983 年の日本海中部地震や 1994 年の北海道東方沖地震、1998 年の石垣島南方沖地震においても入力情報とそれに対する避難行動の記録が残されている。これらの記録から入力情報とその情報による避難率を推定した。時間しか記録されていない場合（東京都立大学都市研究センター、1994）には情報伝達の状況と比較して避難率を推定した。なお、ここでは地震発生時、警報発令時および津波到達時の 3 つの避難率を推定した。他の情報による避難行動に関しては記録が少なく、したがってそのサンプル数も少ないのでここでは設定していない。また避難率の設定の方法としてそれぞれの情報、ここでは地震発生、警報発令、津波発生による避難率を表

現するために、前の段階までで避難していない人の総数を 100 % とし、その段階で初めて避難した人を避難率として示すことにしている。これにより各段階を独立的に扱うことができ、地震発生後の経過において段階の順番が変化しても対応できるものとする。

3.3 数量化理論 I 類の導入

数量化理論 I 類 (林・村山, 1964) は多変量統計解析手法の一つで、それぞれが m_i 個の選択肢を持つ p 個のアイテム変数を用いて目的変数を予測するものである。その内容は、ダミー変数を用いた重回帰分析に等しい。

アイテム i ($i = 1, 2, \dots, p$) 内のカテゴリー j ($j = 1, 2, \dots, m_i$) について、選択されれば 1 を、されなければ 0 をそれぞれとするダミー変数 x_{ij} を定義する。ここで、各カテゴリーに特定の数値を割り当て、式(1)によって目的変数を予測することを考える。

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} (a_{ij} \cdot x_{ij}) \quad (1)$$

各カテゴリーにどのような数値を与えるのかはダミー変数を説明変数として上の式を最小自乗法によって重回帰分析し、偏回帰係数を求めることに帰着する。具体的には、各サンプルから実際の値と式から求められる値との差を求め、その差の二乗の総和を最小にように求めればよい。

一般的に数量化理論 I 類においては説明変数に関する情報が冗長であるので、普通は 2 番目以降のアイテムについてそのうちのどれか 1 つの偏回帰係数を 0 とおいて計算する。このようにして重回帰分析を用いて求めた偏回帰係数である a_{ij} は、冗長であるとして取り除かれた a_{ij} が 0 という偏回帰係数であるため、各アイテム内における平均値が 0 になるように基準化する必要がある。このように基準化された偏回帰係数が数量化理論 I 類におけるカテゴリースコアと呼ばれるものである。

3.4 分析結果と提案モデル

過去の津波災害記録からサンプルデータとして得られた Table 2 を用いて、数量化理論 I 類により平均的な避難率との差として各カテゴリーが持つ影響度を表すカテゴリースコアを求める。このカテゴリースコアが求まると、任意のカテゴリーに対して目的値である避難率の予測値が、対応する各カテゴリースコアの和と全体の平均値から求まる。これが本研究で提案する避難行動開始モデルである。なお、ここでの避難率は地震発生、警報発令、津波到達のそれぞれの段階による避難率を算出することを考え、前の段階までで避難していなかった人の総数を 100 % とし、それに対して対象とする段階で避難した人の割合を避難率として示している。

まず、得られたカテゴリースコア及び偏相関係数、重相関係数の結果を避難率ごとに Table 3 a, 3 b, および 3 c に示す。地震発生時避難率、警報発令時避難率、津波到達時避難率においていずれも重相関係数が 0.8 以上の高い値を得た。カテゴリースコアはその影響度を示しており、各アイテムでのカテゴリースコアの差がカテゴリーの違いによる変化を示している。3 つの表の比較により、地震の発生後時間が経過するにしたがって震度による影響が小さくなり、津波が実際に来るまでの避難行動の開始には特に災害経験によるところが大きくなるのがわかる。

次に、サンプルデータの各カテゴリーに合わせて数量化理論 I 類によって求めたカテゴリースコアを用いて計算した避難率の推定値と、サンプルデータ上の避難率との誤差比較の結果を Table 4 に示す。実際の避難率と推定値との誤差は最大でも 20 % 程度であるという結果が得られた。全 53 ケース中 10 % 以内の誤差であるものが 30 ケースあり、20 % 以上の誤差となったのは 3 ケースであった。

4. 避難率と避難開始時間の推定—避難行動開始モデルの適用—

4.1 避難率の推定

2. で得られたモデルをもとに宮城県各地を対象

Table 2 Sample data for inputting to the proposed model

	地震名	地区・場所	震度	場所	経験	時間	避難率 (%)		
							地震	警報	津波
1	北海道南西沖地震	海栗前・稲穂	1	1	2	1	59.4	63.9	37.4
2	"	東風泊・球浦・仏沢	1	1	2	1	57.0	45.5	21.7
3	"	奥尻1,2,3区	1	2	2	1	46.5	35.6	17.6
4	"	奥尻4,5区	1	1	2	1	59.6	58.4	31.3
5	"	谷地・鳥頭川・赤石・恩願歌	1	1	2	1	65.6	50.6	49.3
6	"	松江・初松前・富里	1	1	2	1	73.7	----	59.8
7	"	青苗1-5区	1	1	1	1	83.7	57.8	66.7
8	"	青苗6,7区	1	2	2	1	42.6	49.0	17.7
9	"	大成町	1	1	3	1	10.5	7.3	22.9
10	"	島牧村	1	1	3	1	11.0	6.8	40.4
11	北海道東方沖地震	大船渡(注意報)	2	1	3	1	0.0	5.1	37.0
12	"	大船渡(警報)	2	1	2	1	0.0	22.0	33.2
13	"	気仙沼(注意報)	2	1	3	1	0.0	1.3	52.0
14	"	気仙沼(警報)	2	1	2	1	0.0	6.0	60.2
15	日本海中部地震	本震時	1	2	3	2	19.5	5.5	55.5
16	"	余震時	2	2	2	2	0.0	9.9	79.7
17	石垣島南方沖地震	沖縄本島	2	1	1	2	12.9	32.8	75.6
18	"	石垣島	2	1	1	2	34.0	70.2	86.4

Table 3 a Result from the model of the evacuation ratio at the time of the earthquake generation

地震発生時避難率			
アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	偏相関係数
地震	1:大	17.2	0.86
	2:小	-27.0	
場所	1:危険	2.0	0.28
	2:安全	-6.9	
経験	1:被害経験あり	24.3	0.82
	2:津波経験あり	4.5	
	3:津波認識なし	-23.6	
時間帯	1:夜間	1.3	0.16
	2:昼間	-4.4	
定数項(平均値)			32.0
重相関係数			0.92

Table 3 b Result from the model of the evacuation ratio at the time of issuing warning

警報発令時避難率			
アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	偏相関係数
地震	1:大	9.8	0.67
	2:小	-13.9	
場所	1:危険	2.8	0.36
	2:安全	-9.0	
経験	1:被害経験あり	24.4	0.84
	2:津波経験あり	6.5	
	3:津波認識なし	-26.4	
時間帯	1:夜間	-0.8	0.10
	2:昼間	2.4	
定数項(平均値)			31.0
重相関係数			0.88

例に避難率の推定を試みた。対象地域での地形図や防災に関する資料、アンケート(永川・今村, 2000)から推定に用いるための各アイテムを設定し、さらに想定津波を仮定して各地での住民の推定避難率(地震発生時避難率、警報発令時避難率および津波到達時避難率)を算出する。ここでは Fig. 9 に示すように想定宮城県沖地震(連動型)

の断層 A, B を設定した(地震調査委員会, 2000; 佐藤・他, 1989)。断層 A, B の位置や各種断層パラメータを Table 5 に示す。これをもとに線形長波方程式を用いた津波数値計算法(後藤・小川, 1982)によって、宮城県沿岸の 11 の地域における第 1 波と最大波の到達時間を求めた。数値計算における計算条件を Table 6 に示す。また、評価

地域①～⑩を Fig. 9 に、第 1 波および最大波の到達時間を Table 7 にそれぞれ示す。なお、Fig. 9 中の数字は第 1 波押し波予想到達時間である。

避難行動開始モデルを適用するにあたり、以下のような定義と仮定を行っている。まず、想定断層によって発生する地震の震度は 5 以上であると考えられるので、震度のカテゴリーは 1 とした。時間は、昼間と夜間の場合の双方を対象とした。

Table 3 c Result from the model of the evacuation ratio at the time of the tsunami attack

津波到達時避難率			
アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	偏相関係数
地震	1 : 大	-3.1	0.28
	2 : 小	4.9	
場所	1 : 危険	2.9	0.36
	2 : 安全	-10.2	
経験	1 : 被害経験あり	10.2	0.34
	2 : 津波経験あり	-0.5	
	3 : 津波認識なし	-5.0	
時間帯	1 : 夜間	-7.0	0.63
	2 : 昼間	24.4	
定数項 (平均値)			46.9
重相関係数			0.84

住民の住む場所に関しては、「高さ (標高) で 10 メートル程度、海岸線からの距離で 200 メートル程度」という条件を一方でも満たすのであれば安全、両方とも満たさないのであれば危険という場所の分類を行っている。経験については、明治以降の地震津波被害の資料 (宮城県, 1985) を参照に、Table 1 の定義にもとづいて分類を行った。

避難行動開始モデルにより各地の 3 段階での推定避難率結果を Table 8 a, 8 b に示す。2 つの表は夜間と昼間の違いを示している。数値は対象地域の住民数を 100 % として、各段階で避難行動を開始する割合を示している。まず、夜間の結果を見ると主に 2 点の特徴がわかる。1 つは評価地域①から⑥までの地区では地震の揺れで避難を開始する割合が時間帯に関係なく 5 割前後であること、もう 1 つは情報を得てからの対応もよいことが分かる。この原因は津波経験の有無が大きく関係していると思われる。なお、評価地域⑦以降の地区 (仙台湾内) では夜間の場合、半数近くあるいはそれ以上の住民が津波の来襲後も行動を取ることができないことを示している。ただし、昼間になると津波の来襲が確認できるために津波到達時の行動開始率が大きくなる。過去の事例と同様な条件

Table 4 Errors between estimated and reported evacuation ratios

サンプル No.	予測避難率 (%)			実避難率との誤差 (%)		
	地震	警報	津波	地震	警報	津波
1	56.9	49.4	39.2	2.5	14.5	1.8
2	56.9	49.4	39.2	0.1	3.9	17.5
3	48.0	37.6	26.0	1.5	2.0	8.4
4	56.9	49.4	39.2	2.7	9.0	7.9
5	56.9	49.4	39.2	8.7	1.2	10.1
6	56.9	-----	39.2	16.8	-----	20.6
7	76.7	67.3	49.9	7.0	9.5	16.8
8	48.0	37.6	26.0	5.4	11.4	8.3
9	28.8	16.4	34.7	18.3	9.1	11.8
10	28.8	16.4	34.7	17.8	9.6	5.7
11	-15.4	-7.3	42.7	15.4	12.4	5.7
12	12.8	25.7	47.2	12.8	3.7	14.0
13	-15.4	-7.3	42.7	15.4	8.6	9.3
14	12.8	26.3	47.2	12.8	20.3	13.0
15	14.3	7.8	53.0	5.2	2.3	2.5
16	-1.7	17.1	65.5	1.7	7.2	14.2
17	26.9	46.8	89.4	14.0	14.0	13.8
18	26.9	46.8	89.4	7.1	23.4	3.0

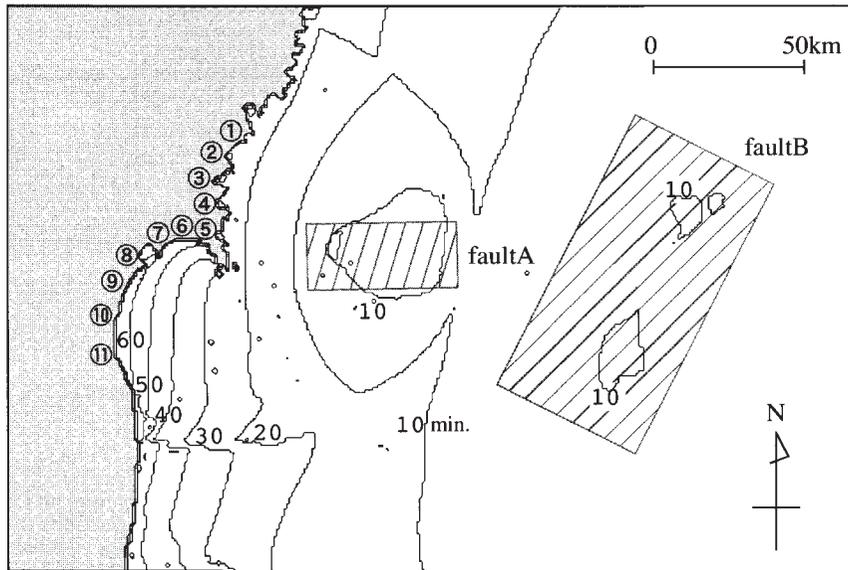


Fig. 9 Expected fault offshore the Miyagi-ken and locations along the coast for the evaluation in the present model. The line in the sea region shows the tsunami arrival time with the interval of 10 minutes

Table 5 Parameters for the expected fault offshore Miyagi prefecture

	名称	記号	単位	断層 A	断層 B
断層面基準点	緯度	N	[°]	38.6	39.1
	経度	E	[°]	142.6	144.7
	深さ	d	[km]	25	1
大きさと食い違い量	走向方向の長さ	L	[km]	26	120
	傾斜方向の長さ	W	[km]	65	60
	食い違い量	U	[cm]	200	350
向きと食い違いの方向	走向方向	θ	[°]	190	205
	傾き角	δ	[°]	20	30
	食い違い方向	λ	[°]	76	90

下では、Table 8 a, 8 b に示されているように具体的な地域での避難状況が推測できる。

4.2 避難開始時間の推定値と津波来襲時間の比較

各段階での避難率が分かると来襲津波時間との比較により各地での危険度が明確になると考える。ただし、避難率を来襲時間と直接比較することは出来ないため工夫が必要である。また、地域や状況により各段階（情報提供）での避難率が変化しており、これを対象地域における 1 つの指標で表

Table 6 Condition for the simulation for the tsunami

時間格子間隔	1秒
空間格子間隔	1500m
計算再現時間	2時間
空間格子数	237×340

示する必要がある。そのための方法が期待値の考え方である。いま、各段階の時間とそれによる避難率が求まっているので、それらを乗じ、各段階での和を求めることにより、この期待値が求まる。

Table 7 Calculated Arrival time of the first and maximum wave at the 11 points for the evaluation

領域	市町村名	到達時間(分)	
		第1波	最大波
①	気仙沼市	26.3	46.0
②	本吉町	30.6	50.1
③	志津川町	31.0	61.7
④	河北町	34.8	64.3
⑤	女川町	27.3	50.8
⑥	石巻市	52.2	68.1
⑦	矢本町	59.2	78.2
⑧	塩竈市	63.1	78.5
⑨	仙台市	64.9	80.1
⑩	岩沼市	67.5	81.8
⑪	亶理町	66.9	80.4

これを避難(開始)の推定値と定義した。これは、対象とする地域において、地震発生から避難行動を開始するまでの時間の代表値であると思われる。

ここでさらに、各段階での所要時間を想定する必要がある。この値と避難率とを掛け合わせたものを各地での避難開始時間の期待値として考える。具体的には避難準備にかかる時間を3分程度とし、北海道南西沖地震の場合には地震発生後7分半でテレビ上に津波警報が発令されているという記録から地震の揺れによって避難を開始する場合の避難開始時間を3分、警報発令による避難開始時間を10分、そして津波の到達によって避難を開始する場合の避難開始時間を第1波押し波の到達時間とした。しかし、それでも避難しないという人の存在があり、このような人に対しては身の危険を感じて初めて避難を開始するという事で最大

Table 8 a Result of estimated time for evacuation and arrival time of the tsunami in the case of night-time

領域	市町村名	震度	場所	経験時間	推定避難率(%)			全体に対する避難率(%)				期待値(分)	時間的余裕(分)	
					地震	警報	津波	地震	警報	津波	避難しない			
①	気仙沼市	1	1	2	1	57.0	49.3	39.2	57.0	21.2	8.5	13.3	12.2	14.1
②	本吉町	1	2	2	1	48.1	37.5	26.1	48.1	19.5	8.5	23.9	18.0	12.6
③	志津川町	1	1	2	1	57.0	49.3	39.2	57.0	21.2	8.5	13.3	14.7	16.3
④	河北町	1	2	2	1	48.1	37.5	26.1	48.1	19.5	8.5	23.9	21.7	13.1
⑤	女川町	1	1	2	1	57.0	49.3	39.2	57.0	21.2	8.5	13.3	12.9	14.4
⑥	石巻市	1	1	2	1	57.0	49.3	39.2	57.0	21.2	8.5	13.3	17.3	34.9
⑦	矢本町	1	2	3	1	20.0	4.6	21.6	20.0	3.7	16.5	59.8	57.5	1.7
⑧	塩竈市	1	1	3	1	28.9	16.4	34.7	28.9	11.7	20.6	38.8	45.5	17.6
⑨	仙台市	1	2	3	1	20.0	4.6	21.6	20.0	3.7	16.5	59.8	59.6	5.3
⑩	岩沼市	1	2	3	1	20.0	4.6	21.6	20.0	3.7	16.5	59.8	61.0	6.5
⑪	亶理町	1	2	3	1	20.0	4.6	21.6	20.0	3.7	16.5	59.8	60.1	6.8

Table 8 b Result of estimated time for evacuation and arrival time of the tsunami in the case of day-time

領域	市町村名	震度	場所	経験時間	推定避難率(%)			全体に対する避難率(%)				期待値(分)	時間的余裕(分)	
					地震	警報	津波	地震	警報	津波	避難しない			
①	気仙沼市	1	1	2	2	51.3	52.5	70.6	51.3	25.6	16.3	6.8	11.5	14.8
②	本吉町	1	2	2	2	42.4	40.7	57.5	42.4	23.4	19.7	14.5	16.9	13.7
③	志津川町	1	1	2	2	51.3	52.5	70.6	51.3	25.6	16.3	6.8	13.3	17.7
④	河北町	1	2	2	2	42.4	40.7	57.5	42.4	23.4	19.7	14.5	19.8	15.0
⑤	女川町	1	1	2	2	51.3	52.5	70.6	51.3	25.6	16.3	6.8	12.0	15.3
⑥	石巻市	1	1	2	2	51.3	52.5	70.6	51.3	25.6	16.3	6.8	17.2	35.0
⑦	矢本町	1	2	3	2	14.3	7.8	53.0	14.3	6.7	41.9	37.1	54.9	4.3
⑧	塩竈市	1	1	3	2	23.2	19.6	66.1	23.2	15.1	40.8	20.9	44.4	18.7
⑨	仙台市	1	2	3	2	14.3	7.8	53.0	14.3	6.7	41.9	37.1	58.0	6.9
⑩	岩沼市	1	2	3	2	14.3	7.8	53.0	14.3	6.7	41.9	37.1	59.7	7.8
⑪	亶理町	1	2	3	2	14.3	7.8	53.0	14.3	6.7	41.9	37.1	59.0	7.9

波の到達時間を設定した。

Table 8 a, 8 b 中に推定値 (分) として算出結果を示し、津波数値計算による第 1 波到達時間との差を時間的余裕 (分) として併せて示している。さらに Fig. 10 a, 10 b にはこれをグラフで示した結果を示す。これらの結果から、夜間の場合⑦以降の地区である矢本町や仙台市より南側の沿岸地域は、津波来襲時間は遅いものの避難開始が遅れるために、時間的余裕が 5 分前後と危険性が高く、一方北側の地域 (①から⑥まで) は予想される津波到達時刻が早いものの 15 分程度の時間的余裕があるので比較的危険性が低いということがわかる。また昼間の場合、津波が到達することによって避難を開始する人の割合が夜間に比べて大きく増加し、それによって避難しない人の割合が少なくなっている。したがって避難開始時間の期待値は小さくなり、夜間と比較して時間的余裕があるという結果が得られた。ただし、想定する

断層の位置や断層パラメータの値が異なると津波到達時間が大きく変化し、評価の結果が違ってくことに注意されたい。

5. 評価とまとめ

本研究では、過去の津波事例を参考に避難開始率を推定する方法を提案した、さらに各情報提供段階での避難率から、各地域での代表値としての避難開始時間を算出し、津波来襲時間との比較により現状での防災体制や住民意識・経験での危険度を評価する方法を検討した。これにより地域間での危険度やさらには防災力を比較評価することができ、さらに新しいシステム導入や住民啓蒙活動により、その程度の効果があるのかを推定する方法へと拡張が可能であると考え。ただし今回選んだアイテムはかなり限定したものであり、さらなる避難実態、情報伝達体制、住民意識を考慮した改善も必要である。

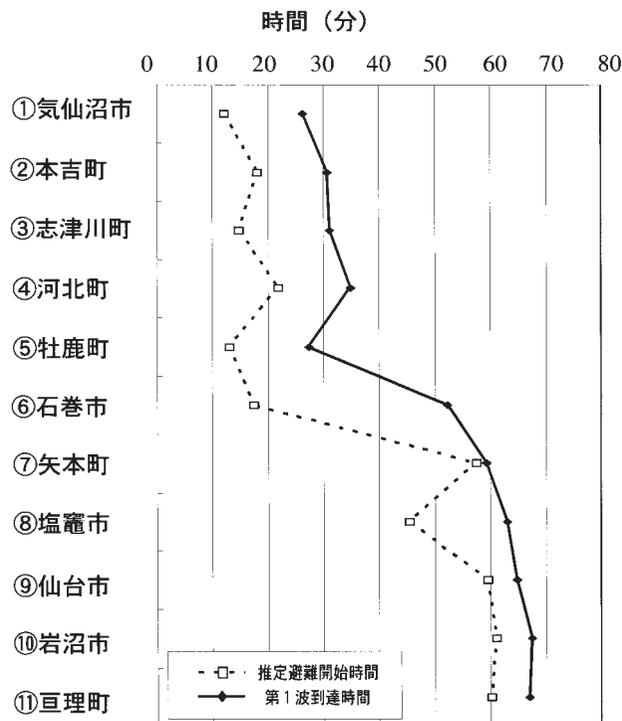


Fig. 10 a Arrival time of the tsunami and estimated time of starting of evacuation in the case of the night-time

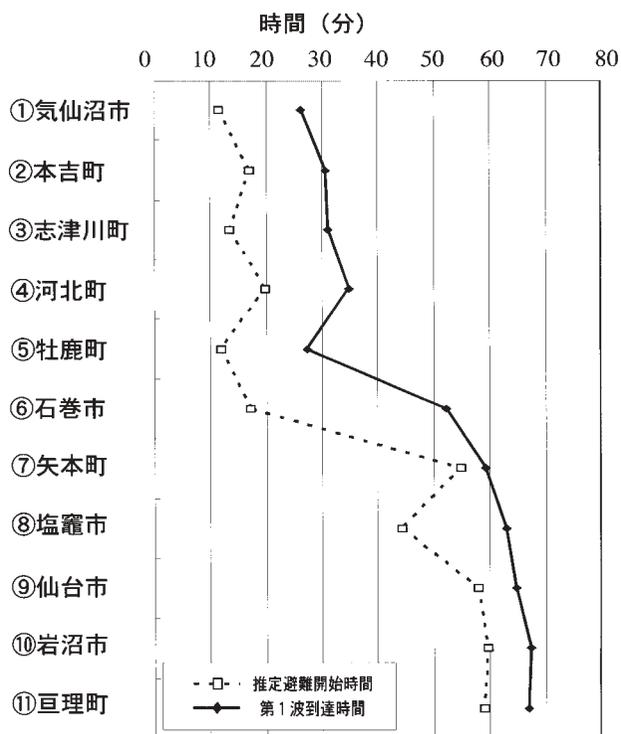


Fig. 10 b Arrival time of the tsunami and estimated time of starting of evacuation in the case of the day-time

謝辞

本研究の一部は科学研究費（基盤 (c)(2)）（代表今村文彦）により補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

亜熱帯研究所 (2000)：沖縄における自然災害リスクとその対応力に関する基礎調査, pp.133-181.
 永川賢治, 今村文彦 (2000)：津波防災対策の現状把握と防災力評価法の提案, 津波工学研究報告, 第17号, pp.79-94.
 後藤智明, 小川由信 (1982)：Leap-frog法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科, 52 p.
 林知己夫・村山孝喜 (1964)：市場調査の計画と実際, 日刊工業新聞社, pp.295-323.
 地震調査委員会 (2000)：宮城県沖地震の長期評価, pp.1-7. 以下のホームページに掲載 <http://www.Jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>
 河田恵昭, 長谷川茂樹 (1994)：地震津波警報の伝達

とマニュアルについて, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.1186-1190.
 宮城県 (1985)：昭和59年度 宮城県津波被害想定調査 津波災害資料集, 291 p.
 及川 康, 片田敏孝 (1999)：河川洪水時の避難行動における洪水経験の影響構造に関する研究, 自然災害科学, Vol.18, No. 1, pp.103-118.
 佐藤良輔, 阿部勝征, 岡田義光, 島崎邦彦, 鈴木保典 (1989)：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック, 鹿島出版会, pp. 10-341.
 仙台市 (2000)：津波情報伝達システム整備調査報告書, pp.79-81.
 首藤伸夫 (1995)：1994年10月4日北海道東方沖地震による津波, 津波工学研究報告, 第12号, pp. 1-18.
 島田富美男, 村上仁士, 上月康則, 杉本卓司, 西川幸治 (1999)：津波による人的被害予測に関する一考察, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.361-365.
 菅 民郎 (1993)：多変量解析の実践①, 現代数学社, pp. 2 -37.

- 東京大学社会情報研究所（1994）：1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達，pp. 1-174.
- 東京都立大学都市研究センター（1994）：1993年北海道南西沖地震の総合研究調査報告，pp. 1-58.
- 都市防災研究所（1996）：災害時の危機意識と避難行動決定要因に関する基礎的・基盤的研究，pp.107-132.
- 矢部浩規（2000）：氾濫特性に応じた避難情報提供に関する研究，自然災害科学，Vol.19，No. 1，pp.111-120.
- 山本尚明，村上仁士，上月康則，後藤田忠久（1998）：四国における津波被災地住民の意識構造分析に基づく津波防災のあり方について，海岸工学論文集，第45巻，pp.381-385.
- 山本尚明，村上仁士，島田富美男，上月康則，佐藤広章（1999）：沿岸域集落の津波危険度に関する簡便的評価法，海岸工学論文集，第46巻，pp.371-375.

（投稿受理：平成13年6月20日
訂正稿受理：平成14年3月7日）