

# 津波避難リスクの定量的評価における避難行動ファクタの整理

## Condition Arrangement of Tsunami Evacuation Factor for Quantitative Evaluation of Tsunami Evacuation Risk

○藤田 謙一<sup>1</sup>, 矢代 晴実<sup>2</sup>  
Ken-ichi FUJITA<sup>1</sup> and Harumi YASHIRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>千代田化工建設(株)  
Chiyoda Corporation

<sup>2</sup>防衛大学校システム工学群建設環境工学科  
Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy.

The huge tsunami due to the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011 has caused the catastrophic damages to the coastal zone along the Pacific Ocean in Tohoku District. Central Disaster Management Council has been published the damage estimation caused by earthquake and tsunami of maximum class may be occurred by the Nankai Trough Great Earthquake. To evaluate quantitatively outline of magnitude of human damage by tsunami in large area such as a local government and a nation levels, tsunami evacuation risk seems to be effective. In this study, to development tsunami evacuation risk can be evaluated quantitatively in large area, viewpoint of the risk estimation is presented. Also, conditions of evacuation behavior factors in local governments in Japan are arranged.

**Keywords :** tsunami evacuation risk, tsunami evacuation behavior factors, tsunami prevention

### 1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴う大津波により東北地方の太平洋沿岸地域は壊滅的な被害を受けた。東日本大震災を受けて、中央防災会議では、南海トラフの巨大地震により発生しうる最大クラスの地震・津波を推計し、巨大地震による被害想定<sup>1),2)</sup>を公表している。

津波による人的被害想定では、津波避難行動ファクタ（移動開始時間、移動速度および移動距離）の考え方、および地域性（地形、人口構成、避難場所の指定）により想定される被害の規模が異なるため、被害想定を行う際はこれらをどのように考えるかが重要となる。津波避難の計画を行う場合には、リアス式海岸の地域であるか、平野部の地域であるかなど地理的条件の特性に応じた対策が課題の一つに挙げられている<sup>3)</sup>。

構造物の場合、地震による比較的広範囲の被害想定に関しては、地震動と建物フラジリティによる想定が行われる。津波による人的被害想定に関しては、定量的評価が行われているものの数値解析的な避難行動シミュレーションが多い。中央防災会議<sup>1)</sup>および自治体<sup>4)-9)</sup>の人的被害想定に関しても定量的な評価が行われているが、想定に用いるファクタや数値は多様である。

国あるいは自治体レベルでの津波避難の全体像を定量的に把握するためには、局所的な地域の避難を数値解析的手法などによるシミュレーションと同時に、地域の特性を考慮することにより広範囲の避難を概算できる津波避難リスク評価が有用と考えられる。

本研究では、地域の津波避難の定量的な評価手法を構

築するために、津波避難リスク評価手法の開発を目的とする。津波避難リスク評価手法に必要な条件を示すために、津波による人的被害評価方法、津波避難リスク評価に必要と考えられるファクタの整理、ならびに中央防災会議<sup>1)</sup>および自治体の避難計画<sup>4)-9)</sup>における避難行動ファクタを整理する。

### 2. 津波避難リスク評価の位置づけ

中央防災会議<sup>3)</sup>では、対津波への対策として津波に強い地域構造の構築、および安全で確実な避難の確保の2つを提示している。前者はハードな対策、後者はソフトな対策と解釈することができる。

両対策の概要を以下に示す。

ハードな対策には、海岸堤防の強化、行政関連施設や病院、学校などの津波対策を特に講ずべき施設の耐浪化などがある。ハードな対策は地域や構造物の安全性向上や強靱化に関するものと捉えることができる。

ソフトな対策には、津波ハードマップの整備促進、津波避難計画の策定促進、安全な避難空間、および確実な避難行動の確保などがある。ソフトな対策はひとの避難活動に関するものと捉えることができる。

本研究の目的である津波避難リスク評価はソフトな対策に位置付けられる。今後は津波避難リスク評価にハードな対策の効果も考慮して、ソフトな対策とハードな対策の両面から津波避難に関する総合的なリスク評価を行うことが必要となろう。

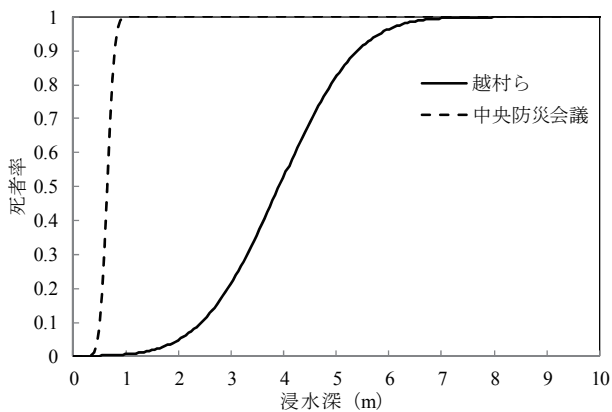


図-1 津波被害フラジリティ曲線

### 3. 津波による人的被害評価の整理

津波による人的被害評価方法は、中央防災会議、自治体および既往の津波避難に関する研究がある。

津波による人的被害の評価方法には、主につぎの2つの方法が用いられている。

①津波浸水深に基づく評価方法

②建物被害率（大破、中破）に基づく評価方法

①の津波浸水深に基づく評価方法は、地域全体を対象とした人的被害に用いられており、マクロ的な評価に有用な手法と捉えることができる。津波による人的被害は死者数で定義され、人的被害の評価にはフラジリティ曲線が用いられている。図-1に越村ら<sup>10)</sup>および中央防災会議の津波被害フラジリティ曲線を示す。越村ら<sup>10)</sup>は2004年のスマトラ沖地震津波でのバンダ・アチエでの人的被害数と数値解析による津波浸水深分布の関係を分析し人的被害関数を構築している。中央防災会議<sup>11)</sup>は、越村らの方法を参考に、浸水深30cm以上で死者が発生し始め、浸水深1mで津波に巻き込まれたすべての人々が死亡すると仮定して被害関数を構築している。

②の建物被害率に基づく評価方法は、①よりも狭い地域の人的被害の評価に用いられており、ミクロ的な評価に有用な手法と捉えることができる。人的被害は死者数および負傷者数で定義されており、人的被害は建物被害から算定される。表-1に人的被害の評価式として宮野・呂<sup>11)</sup>評価式、および静岡県が用いている評価式を示す。宮野・呂<sup>11)</sup>は1944年の東南海地震津波による被害の大きかった志摩半島以南の地域における被害状況を分析して津波による家屋被害と人的被害の関係式を作成している。静岡県<sup>8)</sup>でも宮野らと同じく人的被害を建物被害と関連づけて評価を行っている。

①および②の人的被害の評価式は、津波浸水深や津波による建物被害率といった被害事例を考慮して作成されているという点で共通である。しかしながら、津波による人的被害評価に重要と考えられる津波避難開始時間、津波到達時間（地震発生から津波が到達するまでの時間）、および避難場所までの時間といったファクターが含まれていないものが多い。宍戸ら<sup>12)</sup>は津波発生から避難開始までの時間および避難所までの移動時間を考慮した人的被害のフラジリティ関数を作成している。

表-1 既往の人的被害評価式

評価手法	人的被害の評価式
宮野・呂 <sup>11)</sup>	$D = 0.072W^{1.018}$ $I = 5.584 \times 10^{-4} W^{1.901}$
静岡県 <sup>8)</sup>	$D = 0.0424 \exp\left\{0.1763\left(l + \frac{1}{2}m\right)\right\} \frac{Pop}{100}$ $SI = 0.0340 \exp\left\{0.1763\left(l + \frac{1}{2}m\right)\right\} \frac{Pop}{100}$ $MI = 0.0822 \exp\left\{0.1763\left(l + \frac{1}{2}m\right)\right\} \frac{Pop}{100}$

記号

$D$ : 死者数,  $I$ : 負傷者数,  $SI$ : 重傷者数,  $MI$ : 中等傷者数,  $Pop$ : 人口  
 $W$ : 全壊・流出家屋数,  $l$ : 大破棟数率(%),  $m$ : 中破棟数率(%)

津波による人的被害に関しては、①および②のほかに、マルチエージェントシミュレーションなどの数値解析手法を用いた予測が行われている。局所的な地域を対象とする人的被害予測に関しては、数値解析手法によるシミュレーションは有用と考えられるが、自治体レベルのような広範囲の人的被害予測を行う場合には、広範囲の避難シナリオの設定が狭い範囲と比べて複雑になるといった問題がある。

津波による地域全体の人的被害リスク評価手法の開発を目的とする本研究では、まず①の考え方に準じて津波被害フラジリティ曲線を用いた評価手法を構築する予定である。

### 4. 本研究の津波避難リスク評価の考え方

中央防災会議<sup>1)</sup>および自治体<sup>4)~9)</sup>の津波避難想定手法から、津波避難リスク評価に必要と考えられるファクタを以下の4つに分類した。

①津波避難行動ファクタ

- ・地震発生後から避難開始までの時間
- ・移動速度
- ・移動距離
- ・移動障害
- ・地震発生の時期（季節）および時間帯

②津波ハザードファクタ

- ・津波高さ
- ・浸水深さ
- ・津波到達時間

③津波避難場所と避難人数の関係ファクタ

- ・避難場所（高台、津波避難ビル）の位置
- ・避難対象者のエリア
- ・避難場所の収容人数

④地域性・市街地ファクタ

- ・総人口、人口密度
- ・人口構成
- ・市街地特性  
（商店街、住宅地、田畑などの土地利用状況）
- ・市街地の標高

①の避難行動ファクタに関しては、自治体などの設定

表-2 中央防災会議および自治体の津波避難行動ファクタ

	中央防災会議 <sup>1)</sup>	高知県 <sup>4)-6)</sup>	和歌山県 <sup>7)</sup>	静岡県 <sup>8)</sup>	神奈川県 <sup>9)</sup>
想定地震	南海トラフの 巨大地震	①安政南海地震津波 <sup>4),6)</sup> ②南海地震 <sup>5)</sup>	東海・東南海・南海の3連動 地震	東海地震	①南関東地震 ②神縄-国府津・松田断層帯の 連動地震
津波到達時間 (地震発生後)	以下の津波高を想定 +1m +3m +5m +10m +20m			50cm上昇時間	北海道南西沖地震における奥 尻島のデータを基に、津波の 到達時間を補正
避難開始時間	地震発生後を起点に設定 ①昼間発災時 ・5分後：直接避難者 ・15分後：用事後避難者 ・津波到達時点：切迫避難者 ②夜間発災時 昼間発災時の時間にさらに 5分を要する	津波第1波の到達時間を起点 に、以下を減じた時間として 定義 <sup>9)</sup> ・避難準備：5分 ・近隣住民の安否確認：5分			地震発生後を起点に 以下の9ケースを想定 ・1分 ・3分 ・5分 ・10分 ・15分 ・20分 ・25分 ・30分
避難速度 (歩行)	①昼間 0.736m/s ②夜間 昼間の80%	0.743m/s <sup>5)</sup>	1.0m/s (歩行困難者、身体障害者、 乳幼児、重病人などは 0.5m/s)		以下の3ケースを想定 ・0.5m/s ・1.0m/s ・1.3m/s
避難距離	避難元と避難先の 直線距離の1.5倍		避難可能距離として定義 以下のパラメータを考慮 ・歩行速度 ・津波到達予想時間 ・避難開始時間 ・避難場所への到達時間		

条件、内閣府および自治体により公開され始めている東日本大震災の津波被害に関する実態調査結果の考慮も必要であると考えられる。また、避難行動ファクタは、人的被害の規模に大きく影響するファクタであると考えられる。

②~④のファクタに関しては内閣府や自治体により地域ごとのデータが整備されつつある。このうち、②の津波ハザードファクタに関しては、中央防災会議の被害想定<sup>1)</sup>を受けて、各自治体において津波ハザードマップの整備が進められている。なお、一部の自治体ではハザードマップの公開を行っている。③の避難場所と避難人数の関係ファクタの津波避難ビルに関しては、津波避難ビルの指定などが各自治体で進められている。

人的被害評価に関しては、津波被害フラジリティ曲線を用いた評価に①および②のファクタが重要なファクタとして扱われている。また、局地的な地域の避難シミュレーションに関する数値解析的な評価では③および④のファクタが重要になっている。

## 5. 津波避難行動ファクタの整理

津波による人的被害想定は、前項で分類した津波避難行動ファクタの扱い方により、被害の規模が異なると考えることができる。ここでは、中央防災会議および自治体の津波避難行動に関する想定条件のうち津波避難行動ファクタを整理する。

多くの自治体の津波避難想定から、津波避難を特に分析している高知県、和歌山、および静岡県を選定した。これら3県は中央防災会議の内海トラフの巨大地震の津波による人的被害が多い地域である。このほか、東海地震の津波被害を想定し、特徴的な手法を用いている神奈川県のファクタを整理の対象に加えた。

中央防災会議および自治体の津波被害想定における津波避難に関する設定条件を表-2に示す。避難行動ファクタとして、重要と考えられる避難開始時間、移動速度、および移動距離を示した。なお、避難に関しては倒壊物などによる障害物による混雑の影響があるが、避難に関する基本条件の整理を目的のため除外した。

中央防災会議の被害想定では、一律の条件の下で実施されているが、人的被害想定には東日本大震災以前の津波被害に基づくデータが用いられている。各自治体の被害想定に関しては、南海トラフの巨大地震<sup>1)</sup>に基づく被害想定の実施段階と考えられるため、現在公表されている津波避難に関する設定条件を整理して示した。

自治体の被害想定には公表されていない項目があるが、概ね避難開始時間は地震発生後5分、移動速度は0.7~1.3m/sが想定されている。夜間に避難する場合は移動速度が昼間の80%に低減すると設定されている。移動距離に関しては、避難開始点から目的地までの距離の1.5倍とする考え方、歩行速度や津波到達時間をパラメータとした算式を用いる方法より評価されている。

表-3 東日本大震災における津波避難実態の調査結果<sup>13)</sup>

避難形態	地域	平均避難速度 (m/s)	平均避難所要時間 (min)	平均避難距離 (m)
歩行	平野部	0.80	10.8	519
	リアス部	0.57	11.5	391
	平野部とリアス部の平均	0.65	11.2	438
車	平野部平均	2.16	21.3	2,759
	リアス部平均	3.17	11.0	2,091
	平野部とリアス部の平均	2.50	16.2	2,431

中央防災会議や自治体の津波避難想定においては、それぞれ独自の考え方が採用されている。しかしながら、津波避難リスク評価の構築には表-2の条件を考慮した津波避難行動ファクタの設定が必要と考えられる。

津波避難ファクタの設定に関しては、内閣府など東日本大震災の避難実態をまとめた調査結果の考慮も必要であろう。東日本大震災の津波被災現況調査結果の一つとして、国土交通省<sup>13)</sup>がまとめた避難に要した時間、避難速度および避難距離を表-3に示す。国土交通省の調査結果は、青森県から千葉県までの津波実態調査結果をまとめたものであり、平野部とリアス部について避難に関する調査結果が整理されている。

## 6. まとめ

地域レベルでの津波避難リスク評価手法構築の基礎調査として、津波による人的被害評価方法、中央防災会議および自治体が想定している津波避難行動に関する設定条件を整理した。また、津波避難リスク評価に必要なと考えられるファクタを自治体などの人的被害評価の考え方より、①津波避難行動ファクタ、②津波ハザードファクタ、③津波避難場所と避難人数の関係ファクタ、および④地域性・市街地ファクタの4つに分類した。

今後、広範な範囲の津波による人的被害リスク評価の開発のために、津波避難行動ファクタを設定し、人的被害

曲線（損傷度曲線）を作成予定である。また、津波避難に関する4つのファクタを含め、地域特性や地理的条件を考慮した人的被害のリスク評価手法を構築する予定である。

## 参考文献

- 1)中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告），2012.8.
- 2)中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告），2013.3.
- 3)中央防災会議：南海トラフ巨大地震対策について（中間報告），2012.7.
- 4)高知県：第2次高知県地震対策基礎調査 報告書，2004.3
- 5)高知県海洋局：漁村における津波対策基本方針，2005.3
- 6)高知県：第2次高知県地震対策基礎調査，2006.3
- 7)和歌山県：和歌山県津波避難計画策定指針，2006.3
- 8)静岡県：第3次地震被害想定結果，2001.5
- 9)神奈川県：神奈川県地震被害想定調査，2009.3
- 10)越村俊一，行谷佑一，柳沢英明：津波被害関数の構築，土木学会論文集B，Vol.65，No.4，pp.320-331，2009.12
- 11)宮野道雄，呂恒俊：既往の被害調査資料に基づく地震時の人的被害に関する検討，地域安全学会論文報告集，Vol.2，pp.127-135，1992.5.
- 12)宍戸直哉，宇川弘朗，今村文彦：津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法の検討，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol.66，No.1，pp.1311-1315，2010
- 13)国土交通省：東日本大震災の津波被災現況調査（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果（速報）～，[http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09\\_hh\\_000004.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09_hh_000004.html)，2011.12.