

ISSN 1346-7328

国総研資料 第861号
平成 27 年 9 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.861

September 2015

津波防災のためのソフト対策の評価に関する調査・整理

岡本 修

Research and evaluation of
Non-structural measures against tsunamis

Osamu OKAMOTO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

津波防災のためのソフト対策の評価に関する調査・整理

岡本 修*

要 旨

2011年3月に発生した東日本大震災での津波被害を踏まえ、今後発生すると考えられている南海トラフでの地震による津波への対応も意識し、津波防災の充実強化が指摘されている。その中で、効果的・効率的に津波防災を進めていく手段として、構造物によらない防災事業、すなわちソフト対策の充実を図ることがどの地域においても必要との指摘がある。

ソフト対策に関しては、その有効性・効率性を確保すべく適時適切に事業の効果を把握し、その後の見直し、改善につなげていくことが必要と考えられる。以上のような背景を踏まえ、津波防災に関するソフト対策について、その効果を評価した事例を各種の研究論文、政府発表の資料類から収集整理し、各事例と評価方法の紹介を行った。

キーワード：津波防災，ソフト対策，評価方法

*沿岸海洋・防災研究部津波災害研究官
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5033 Fax：046-844-5068 e-mail: okamoto-o2ms@mlit.go.jp

Research and evaluation of Non-structural measures against tsunamis

Osamu OKAMOTO*

Synopsis

After the 2011 TOHOKU earthquake and tsunami, several organizations called for developing crisis plans and enforce protective measures against tsunamis. Especially, non-structural measures have been on focus. Although, the effect of structural measures against tsunamis is estimated through a cost-benefit analysis, few studies investigate the effect of non-structural measures. In this study, the effect of non-structural measure is reviewed on the basis of previous results, and method of quantifying the effect of non-structural measures is presented.

Key Words : Tsunami mitigation, non-structural measures, evaluation method

* Research Coordinator for Coastal and Marine Disaster Prevention, Coastal, Marine and Disaster Prevention Department, 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-44-5033 Fax : +81-468-44-5068 e-mail:okamoto-o2ms@mlit.go.jp

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 調査範囲と調査方法 | 1 |
| 3. 津波防災対策の評価に関する事例 | 1 |
| 3.1 ハザードマップ | 2 |
| 3.2 津波防災ワークショップ | 2 |
| 3.3 水門・陸閘の閉鎖作業 | 2 |
| 3.4 災害体験の伝承効果 | 3 |
| 3.5 津波の実体験等による防災意識向上 | 3 |
| 3.6 地方公共団体の津波防災啓蒙効果 | 4 |
| 3.7 津波伝達時間の短縮効果 | 4 |
| 3.8 防災訓練・研修 | 5 |
| 3.9 防災教育 | 6 |
| 3.10 地震保険 | 9 |
| 3.11 その他防災対策一般 | 10 |
| 4. 津波防災対策の評価方法の紹介 | 10 |
| 4.1 実地調査 | 10 |
| 4.2 シミュレーション等 | 11 |
| 5. まとめ | 14 |
| 参考文献 | 14 |

1. はじめに

国や地方公共団体において財政状況の悪化が言われている昨今では、津波防災を考えるに当たっても、投資費用が大きいハード対策のみに頼らず、防災教育やワークショップの開催といったソフト対策を組み合わせることが必要となっている。これまで、防潮堤や津波防波堤などのハード対策については費用対効果分析の手法を用いるなどにより投資効果の検証が行われてきており、ソフト対策についてもその事業効果の分析が徐々に実施されるようになってきている。ソフト対策の場合については、事業の成果をはかる指標を設定し目標値の達成状況を測定することによってその必要性を分析することが行われている。防災ソフト対策の評価は、実際に災害が発生するまでは客観的な評価が難しいと考えられているが、日常の事業に対する取り組みの中で客観的な評価が得られない場合、その取り組みの問題点や不足部分の把握・改善が十分に行われなくなることになるため、ソフト対策を評価していくための調査や分析の方法の確立が事業発展のための重要な課題であると考えられる。

なお、ソフト対策に関しては、その有効性・効率性を確保すべく適時適切に事業の効果を把握し、その後の見直し、改善につなげていくことが必要と考えられるが、平成23年には、環境省が実施している地球温暖化対策事業について事前の効果測定を行う仕組みを構築すべきとの指摘がなされ、平成24年に「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」が出された経緯がある。

そこで、本研究においては、文献等調査を行うことによって、これまでの津波防災ソフト対策の評価に関する既往の知見をとりまとめるとともに、津波防災ソフト対策の効果を定量的に把握する方法について整理した。

2. 調査範囲と調査方法

まず、本研究を行うに当たり、「ソフト対策」の該当範囲を明らかにする。これについては牛山が構造物による防災対策を「ハード対策」もしくは「structural measure」、構造物によらない防災対策を「ソフト対策」もしくは「non-structural measure」と整理しており¹⁾、本研究で対象とするソフト対策もこの考え方に従い、構造物によらない防災対策を「ソフト対策」と定義する。牛山によると、「ソフト対策」の例として、土地利用規制、耐震基準、保険、観測システム、情報システム、ハザードマップ、防災教育、訓練、避難システムなどが挙げられているが、本研究では、これらのうち、防災効果

が定量的に示されているものを対象としている。

次に調査範囲であるが、本研究では、津波防災について数多くの発表論文が掲載されている土木学会海洋開発論文集、海岸工学論文集をまず文献調査の対象とした。また、津波防災ソフト対策に関する発表論文の多い地域安全学会、災害情報学会、自然災害学会の論文集を次に対象とした。さらに、近年津波防災関係の論文発表が増えてきている土木学会安全問題論文集や地震工学論文集、また防災計画に関する論文が掲載されている土木学会土木計画研究・論文集も対象とした。

政府発表資料としては、まず、各府省が平成13年度以降毎年度実施している政策評価の資料、特に政策チェックアップにおいて津波防災ソフト対策の効果を検証した資料を収集し、内容を確認する作業を行った。次に、中央防災会議で実施されている南海トラフ巨大津波による被害想定において、避難対策を充実させた場合の犠牲者数低減効果が算出されているため、これを津波防災ソフト対策の効果と考えて、避難対策を充実させた場合とそうでない場合との犠牲者数算出に関する前提条件を確認した。またソフト対策の効果測定を事前に行っている事例として、環境省で実施されている地球温暖化対策事業の効果測定事例があり、地球温暖化対策についてのソフト対策ということで、津波防災ソフト対策の効果測定に応用ができるものと考えた。

これらのほか、「地震保険」、「防災訓練」、「避難訓練」、「津波情報」といった津波防災ソフト対策についてのキーワードと「効果」といった用語を繰り返し用いることによって文献検索を行い、ヒットした論文等をピックアップし内容を確認する作業を繰り返し行った。

文献の整理に当たっては、津波対策以外のものでも、津波対策に応用が可能であるものについては前広に取り上げ、津波対策との関係を同時に述べることにした。

3. 津波防災対策の評価に関する事例

ここでは、2.に示した方法によって調査した結果に基づき、津波防災ソフト対策の項目ごとに、効果の定量的評価についての事例を整理した。具体的には、今回事例の見当たっているハザードマップ、津波防災ワークショップ、水門・陸閘の閉鎖作業、災害体験の伝承、津波の実体験による防災意識向上、地方公共団体の津波防災啓蒙効果、津波伝達時間の短縮効果、防災訓練・研修、防災教育、地震保険、その他防災対策一般、といった項目ごとに、その事業効果（実施前と実施後との比較を行っているものに限る）を定量的に評価した事例を列挙する。

3.1 ハザードマップ

津波に対するハザードマップの効果を定量的に示したものではないが、平成10年8月に福島県郡山市で発生した豪雨災害に対してハザードマップの効果を検証した事例があるため、参考としてこちらの成果を掲載する。

福島県郡山市においては、昭和61年の集中豪雨による大規模な被害経験を教訓に、平成10年1月に洪水ハザードマップを作成・公表していた。片田ら²⁾は、洪水ハザードマップが実際の水害時に活用された全国でも数少ない事例としてその効果に注目し、平成10年8月の豪雨災害時において避難勧告や避難指示が出された地域の住民2,000世帯に対するアンケート調査により、郡山市洪水ハザードマップの利用状況とその評価、そして洪水ハザードマップによってもたらされた避難行動などへの影響を調査・分析している。

この研究では、まず、住民の避難率における洪水ハザードマップの効果を明らかにしており、洪水ハザードマップを見た住民が、洪水ハザードマップを見ていない住民に比べて、避難勧告や避難指示が発令された場合に、それに従って避難を行う人が多く、行政からの避難情報に従う傾向が顕著に認められることを示している。具体的に数字を挙げると、避難勧告・指示の発令期間における洪水ハザードマップの効果が、多い地区で約10%の避難率の差として現れており、これを実際に避難勧告・指示が発令された11,418世帯に換算すると約1,114世帯の避難行動を促したと推定している。

結果として、住民の避難行動において洪水ハザードマップが、より多くの避難行動を促進するように作用するだけでなく、避難開始のタイミングをも早めるよう作用したことを明らかにしている。

また避難行動の促進効果は津波ハザードマップの場合にも応用が可能であると考えられる。

3.2 津波防災ワークショップ

津波からの適切な避難を促す施策の一つとして沿岸住民を対象としたワークショップが企画されることがある。ワークショップとは、住民が主体的に参加し、個人ではなくグループで、聴講だけでなく体験を通じて学習する形態である。

加藤ら³⁾は、2006年千島列島沖地震時の北海道釧路市民の行動及び認識について質問紙調査を行い、対象住民の避難意思決定に関わる要因を踏まえてワークショップの内容を検討し、表3.2.1に示す内容のワークショップを釧路市内の2カ所の地区においてそれぞれ20～30名の住

民を対象に3回ずつ試行した。その際、各ワークショップの前後に避難勧告発令時の避難意向や浸水可能性の認識などについて質問紙を使って調査することにより、ワークショップの効果を測定した。なお、以下の表3.2.1において「正常化の偏見」とは、「自分だけは津波が来ても助かるであろう」といった科学的根拠のない思い込みのことを意味している。また、「復元画案」とは、市内で撮影した写真に津波による浸水の動画を合成したものを表している。

表3.2.1 加藤らによるワークショップの内容

| 回 | 内容 |
|-----|---|
| 第1回 | ワークショップの目的・構成 浸水危険性の説明 避難情報の意味説明 2006年11月千島列島沖地震時の釧路市民の避難実態説明 浸水想定区域及び津波避難体験の地図表示 |
| 第2回 | 第1回ワークショップの概要説明 津波避難体験の復元画案についての討議 正常化の偏見 |
| 第3回 | 第2回ワークショップの概要説明 津波避難体験の復元画案についての討議 避難しない理由に対応した避難必要性説明 |

当該論文では、ワークショップの前後における浸水可能性の認識、避難必要性の認識、避難勧告発令時における避難意向について集計しており、ワークショップ後の方が浸水可能性や避難必要性の認識が高くなり、避難意向も高くなることを示している。具体的に数字を挙げると、居住地の浸水可能性として「可能性が高い」と回答した住民の割合が各回ワークショップ前後で23.5%から41.2%に（第1回）、33.4%から60%に（第2回）、33.3%から60%に（第3回）、それぞれ向上することを示している。また当該論文では、居住地での津波避難の必要性として「必要性が高い」と回答した住民の割合が各回ワークショップ前後で47%から64.6%に（第1回）、40%から66.7%に（第2回）、46.7%から73.3%に（第3回）、それぞれ向上することも示されている。さらに、避難勧告発令時の避難意向（避難勧告発令時にどのような行動をとるか）についても「避難する」、「必ず避難する」と回答した住民の割合が各回ワークショップ前後で47%から64.7%に（第1回）、53.3%から66.7%に（第2回）、66.6%から80%に（第3回）、それぞれ向上することが示されている。

3.3 水門・陸閘の閉鎖作業

志方ら⁴⁾は、高知県土佐市宇佐町を対象とし、水門・

陸閘といった門扉の開閉状況を変化させて津波計算を実施し、人的被害の予測を行っている。想定津波は安政南海地震津波であり、沿岸構造物の地震・液状化による被害は考慮していない。津波の数値計算は非線形長波理論式を基礎式とした平面二次元計算により行い、津波の陸上での浸水深が50cm以上の場合に避難行動が困難となり人的被害が生じるものとしている。

表3.3.1には、上記計算から得られた門扉の開閉状況と人的被害との関係を示す。この表において「被害率」は、地区の人口に対する被害者数の割合である。この表からは、すべての水門・陸閘（水門5基と陸閘59基）を閉鎖することで地区の人口に占める被害者数の率を4.1ポイント軽減することができ、特に陸閘の閉鎖に比べて水門の閉鎖による被害軽減効果が大きいことが示されている。

表3.3.1 水門・陸閘の開閉状況と人的被害率⁴⁾

| 水門・陸閘の開閉状況 | 被害者数 | 被害率 |
|------------|------|------|
| 全水門・陸閘を解放 | 437人 | 9.9% |
| 陸閘のみを閉鎖 | 421人 | 9.6% |
| 水門のみを閉鎖 | 274人 | 6.2% |
| 全水門・陸閘を閉鎖 | 255人 | 5.8% |

なお、この場合については水門・陸閘といったハード対策の効果としての解釈が可能であるが、門扉の開閉作業には人為的な要素が入っているため、ソフト対策としての効果も一部にはあると考えたものである。当該論文においても、「津波来襲前に水門・陸閘を閉鎖できるような体制を確立しておくこと」が有効な被害最小化対策といえたとされており、所要の体制整備がもたらした効果も含まれるものと解釈が可能である。

3.4 災害体験の伝承効果

栗田ら⁵⁾は、2004年12月に発生したインド洋津波の被災地であるインドネシア国内4つの地域で住民、学校、行政官を対象として津波リスクに関するアンケート調査を実施し、津波リスクに関する意識の地域特性を定量化することを試みている。具体の調査地域は、バンダアチェ、北スマトラ西部、シムル島、ニアス島である。

この調査からは、シムル島を除く他の地域において殆どの人々が事前に津波を知らなかったことがわかっており、シムル島では70%以上の人々が「津波を知っていた」と回答したことも明らかになっている。

また、津波に関する事前知識の有無が地域の犠牲者数に反映される結果となっており、概要を表3.4.1に示す。

表3.4.1 インドネシアの地域別犠牲者数と栗田らの意識調査との対比

| 調査地域 | 津波の事前知識を有していた人の割合 | 死者・不明者数 | 人口(概数) |
|---------|-------------------|---------|--------|
| バンダアチェ | 19.9% | 30,000人 | 24万人 |
| 北スマトラ西部 | 17.0% | 19,800人 | 30万人 |
| シムル島 | 78.0% | 9人 | 7万2千人 |
| ニアス島 | 28.3% | 257人 | 43万3千人 |

上記の表で死者・不明者数には地震による犠牲者も含まれているが、津波に関する事前知識のあったシムル島の犠牲者数が他地域と比べて極端に少ないことがわかる。シムル島では、地震発生後、住民たちが直ちに高台へ避難したため、多くの人たちが被災を免れたのが実態である。シムル島には、今から約100年前の1907年来襲した津波の伝承が残っており、住民が津波を意識していたことが同調査で明らかになっている。シムル島では、津波のことを「スモン」と呼び、年長者が次世代に歌と話で教訓を引き継いでいる。伝承された歌の中では、津波の特徴が説明され、津波時に何をすべきで、何をすべきでないかが語られているとのことである。栗田らは、シムル島の子孫たちが先祖の言い伝えを忠実に守ることにより、被害を最小限に食い止めることができ、事前知識の有効性が100年後の津波で実証されたことになると考えている。

なお、各地の津波高さについては、各種の報告書や報道からは、バンダアチェで10m超、北スマトラ西部で約9.5m、シムル島で約3m、ニアス島で4~5m、もしくは6~7mという数字が残っている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

3.5 津波の実体験等による防災意識向上

政府の中央防災会議（議長：内閣総理大臣）⁹⁾では、平成15年9月の「東南海、南海地震等に関する専門調査会」における被害想定段階から、津波に対する避難意識が高い場合と避難意識が低い場合との死者数を算出している。具体的には、避難意識が高い場合として北海道南西沖地震における奥尻町のケースである避難率（即座に避難行動をとった比率）71.1%を、避難意識が低い場合として日本海中部地震のケースである避難率（即座に避難行動をとった比率）20%を、それぞれ採用したものである。奥尻島では北海道南西沖地震以前に日本海中部地震が起こり津波の到達もあったため、防災意識向上によって北海道南西沖地震時に避難率が向上したものと考えられている。中央防災会議では、この考え方を基に津波避

難意識が向上した場合の死者数の減少を算出しており、この考え方は平成24年度に行われた南海トラフの巨大地震における人的被害の想定にも適用されている。南海トラフの巨大地震による中央防災会議の被害想定では、東日本大震災時の被災地域での調査結果も踏まえ、表3.5.1のような4つの避難開始時期別に避難行動者数の割合が設定されている。この表は、避難開始時期によって直後避難する人々、用事後避難する人々、切迫避難あるいは避難しない人々の割合が異なってくることを示したものである。

表3.5.1 避難開始時期別/行動者数の割合

| 避難開始時期 | 直後避難する人々の割合 | 用事後避難する人々の割合 | 切迫避難する、あるいは避難しない人々の割合 |
|--------------|-------------|--------------|-----------------------|
| 避難開始が迅速である場合 | 100% | 0% | 0% |
| 早期避難率高+呼びかけ | 70% | 30% | 0% |
| 早期避難率高 | 70% | 20% | 10% |
| 早期避難率低 | 20% | 50% | 30% |

この表において、避難開始の迅速化を促す施策（例えば、「揺れを感じたらすぐ避難」といった標語の周知による意識啓発）、避難の呼びかけといった施策が、直後避難する人々の割合増加や、避難行動をとらない人々の割合減少に反映されることから、ソフト対策の効果を定量的に表現したものと考えられる。

なお、表3.5.1中で「避難開始が迅速である場合」とは、全員が発災後すぐに避難を開始した場合を端的に表現しており、「早期避難率高+呼びかけ」とは、早期避難者の比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼びかけが効果的に行われた場合を表現している。

3.6 地方公共団体の津波防災啓蒙効果

杉本ら¹⁰⁾は、東南海・南海地震発生時の津波による被害が大きいと考えられる5カ所の海水浴場において、海水浴場利用者を対象とした津波防災意識に関するアンケート調査を行い、得られたデータを海水浴場利用者の在住している都道府県別に集計して意識の違いを明らかにし、それぞれの行政機関が実施している防災教育や対策による効果を見いだそうとしている。

アンケート回収数は、和歌山県2カ所、三重県2カ所、高知県1カ所、合計5カ所の海水浴場において1,360枚に上り、これらの海水浴場では利用者全体の63%が県外からの

利用者であった。

このアンケートで明らかになったのは、「東南海・南海地震が発生した場合、この海水浴場に津波が来る可能性についてどのように思いますか？」との問いかけに対して、「来ることを知っている」と回答した利用者の割合に地域差が出たことである。具体的には、和歌山県在住者で51%、高知県在住者で41%、三重県在住者で28%であったが、大阪府在住者で24%、愛知県在住者で11%、兵庫県在住者で19%、その他地域の在住者では20%であった。

杉本らは、ハザードマップなど各自自治体に取り組んできた津波防災対策の成果が上記の数字に表れていると考えている。具体的にいえば、和歌山県では、2008年3月に教育委員会が主体となり津波防災教育DVDによる教育体制がつけられたという一事例がある。さらに和歌山県には「稲むらの火」など昔からその地域に伝えられている話があるなど、少なからず防災意識に影響を与えていると考えており、この結果として、他の府県の利用者に比べて防災意識が高い結果になったものと考えている。

3.7 津波伝達時間の短縮効果

島田ら¹¹⁾は、南海地震による津波の被害を繰り返し受けてきた高知県内の1地区を対象とし、津波の遡上を考慮した数値計算を行うことにより、住民の避難行動を考慮した人的被害の予測を実施している。ここでは当該地区におけるアンケート結果を踏まえ避難開始時期を地震発生後15分と設定し、同時に、避難開始時期を5分ずつ早めた場合についても予測計算を行っている。この計算から地震発生後の避難開始時期と被害者数との関係を求めたところ、地震発生から15分後に避難開始した場合、288人もの被害者が出るが、これから5分ずつ避難開始を早めると、被害者数はそれぞれもとの1/4以下(71人)、1/50以下(5人)、さらに地震発生直後に避難した場合には被害者なしという具合に、大きく減少することを明らかにしており、避難開始を早めることによる被害者数の減少効果が大きいことを示している。

次に、竹内ら¹²⁾は、インド洋沿岸地域全体で多目的ブイ（特に沿岸漁業や観光業の日常的な海洋観測ニーズを満たすブイと定義している）を運用し、そのブイで津波観測も行うことで予報体制を構築するという新しい津波防災対策が提案されたことを踏まえ、多目的ブイのネットワーク化による津波警報システムの有効性を、観測情報の活用による人的被害軽減効果の観点から検証している。この研究では、①インド洋全体で国際的な津波観測ネットワークを構築した場合、②インド洋周辺各国が独自の観測網で津波検知を行った場合、のそれぞれに対し

て人的被害軽減効果を算出している。その結果、特にスリランカ・タイ・モルディブなどでは、広範囲に多目的ブイのネットワークを構築すれば人的被害の大幅削減が可能であることが示されている。具体的には、インド洋全体で津波観測情報を共有することにより、津波観測システムが全く存在しない場合に比べて最大96%の人的被害軽減効果が見込めることが明らかになっている。なお、各国独自の観測網による場合は、タイ・スリランカでせいぜい人的被害軽減効果が40%程度、インド洋に浮かぶ島嶼国であるモルディブでは人的被害軽減効果が10%程度にとどまっている。これらの検討結果により、多目的ブイによる観測ネットワークが津波警報システムとして十分な効果を持つことが示されている。

さらに、志方ら⁴⁾は、前述の3.3中で述べたものと同様の方法によって、津波浸水区域の住民の避難開始時期を地震発生後25分から5分ずつ早めて津波による人的被害予測を行っている。ここでは、①沿岸構造物の被害なしで水門・陸閘をすべて閉鎖した場合、②液状化被害が大きいことを想定した場合、③水門・陸閘をすべて解放した場合、の3ケースにおいて住民の避難開始時期と被害率との関係を求めている。なお、被害率の母数は、計算対象領域内の総人口4,339人である。これによると、地震発生から25分後に避難開始した場合の被害率は上記の①から③の条件に応じて①5.8%、②21.7%、③9.9%であるのに対し、避難開始時期を5分早めて地震発生から20分後に避難開始した場合では①0.1%、②0.6%、③0.5%にまで軽減され、さらに5分早めて地震発生から15分後に避難開始した場合では①、②、③いずれについても人的被害が発生しないことが明らかになっている。すなわち、沿岸構造物が地震・液状化被害を受けた場合でも、モデルケースの地区においては早期避難により人的被害が確実に軽減できることを示している。

ほかにも、片田ら¹³⁾が開発した津波災害総合シミュレータにより、行政による情報伝達のタイミングと住民の避難開始時期を変化させて人的被害の発生状況を定量的に示した事例がある。これによると、行政による情報伝達が発災3分後に行われた場合は、住民が情報を聞いてから5分後までに避難を開始すれば人的被害の発生を30人以内に抑えることが出来るが、情報入手から10分後に避難を開始すると91人の被害者が発生する結果となっている。また行政からの情報伝達が発災後10分後に行われた場合には、住民が情報を聞いてから1分後までに避難を開始すると29人の被害者にとどまるが、情報入手から10分後に避難を開始すると321人も人的被害が発生する結果となっている。

3.8 防災訓練・研修

津波を対象としたものではないが、防災訓練の効果を定量的に把握したものとして大規模土砂災害に対する訓練の効果測定を述べた事例があり、津波対策の参考にすることが可能であると考えられるため、最初にこの事例について紹介する。

坂口ら¹⁴⁾は、国や自治体といった行政機関の職員を対象として平成24年度に実施された防災訓練について、訓練実施前と実施後で訓練参加者の理解・認識の違いを把握するため、訓練当日の訓練開始直前及び訓練終了後に、参加者に対するアンケート調査を実施している。訓練方法は、進行役からの質問とその回答によって行われる「学習型」が主体であり、訓練内容は、国が緊急調査を実施する河道閉塞（天然ダム）対応を主とするものである。なお、訓練は全体で9回実施されている。

このアンケート調査から得られた、各訓練の代表的な項目である「関係機関との情報共有」や「改正土砂災害防止法」について、訓練前後における参加者の理解度の変化を表3.8.1に示す。

表3.8.1 訓練前に対する訓練後の回答の比¹⁴⁾

| 回答 | 情報共有 | 改正土砂法 |
|------------------------------|-------|-------|
| よく理解できた ／理解できた | 2.47倍 | 2.43倍 |
| 普通 | 0.78倍 | 0.70倍 |
| 理解できなかった ／あまり理解 できなかった | 0.09倍 | 0.22倍 |

この表によると、「情報共有」「改正土砂法」のどちらの項目についても、訓練による参加者の理解度に変化が生じ、理解の深まった参加者が訓練後に大きく増加していることがわかる。すなわち、この表は防災訓練によって災害への対応能力が向上する効果を定量的に示していると考えられる。

また、上記の訓練内容については「津波防災地域づくりに関する法律」もしくは「改正海岸法」、「関係機関との津波に関する情報共有」などといった形で津波防災への応用も十分可能であると考えられる。

次に、地方自治体防災担当職員を対象とした研修プログラムの効果を定量的に示した事例を紹介する。

照本ら¹⁵⁾は、人と未来防災センターで実施されている地方自治体防災担当職員を対象とした研修プログラム（災害対策専門研修）をとりあげ、研修カリキュラムの受講前、受講後における能力項目及び知識項目に対する

受講者の自己評価結果を見ることによって、研修プログラムの効果を把握することを試みている。

具体的には、研修の受講前、受講後において、「他の自治体も含めた防災担当部署に所属している行政職員が持っていると思う平均的な知識に関する能力と比較して、あなたにはどの程度備わっていると思いますか」という設問に対し、「1.まったく備わっていない」との回答を1点、「5.非常に備わっている」との回答を5点、など見なして5段階評価で集計している。

表3.8.2には、得られた回答の集計結果（平均値）を示すが、およその傾向として、研修カリキュラムの受講後においては知識項目に対する自己評価が向上していることが確認されている。

表3.8.2 研修受講前後の主観的知識評価に関する集計結果¹⁵⁾

| 項目 | 研修前 | 研修後 |
|------------------------------|------|------|
| 災害発生の基本的メカニズムを認識可能 | 2.56 | 3.80 |
| 平常時の被害予測から地域の災害時の弱点を認識可能 | 2.46 | 3.51 |
| 災害発生後に社会に生じる基本的課題を認識可能 | 2.42 | 3.75 |
| 住民の災害対応行動に基づく課題を認識可能 | 2.34 | 3.70 |
| 災害対応に必要な人的・物的資源の内容と関連組織を認識可能 | 2.24 | 3.44 |
| 災害対応を行うための部局内の効果的な体制を認識可能 | 2.35 | 3.37 |
| 災害時における報道機関への対応課題を認識可能 | 2.13 | 3.14 |
| 災害に関連する法制度に基づく業務を認識可能 | 1.99 | 3.22 |

当該論文では同時に、能力項目の評価結果についても検証しており、研修の受講前、受講後において、「他の自治体も含めた防災担当部署に所属している行政職員が持っていると思う巨大災害時の災害対応に関する平均的な能力と比較して、あなたにはどの程度備わっていると思いますか」という設問に対し、「1.まったく備わっていない」から「5.非常に備わっている」の5段階で受講者に尋ねており、「1.まったく備わっていない」との回答を1点、「5.非常に備わっている」との回答を5点、など見なして結果を集計している。表3.8.3にこの集計結果（平均値）を示す。

この結果から、知識項目の評価結果と同様に、研修受講前後では能力に関する自己評価の向上が見られることが確認されている。

表3.8.3 研修受講前後の主観的能力評価に関する集計結果¹⁵⁾

| 項目 | 研修前 | 研修後 |
|-----------------------------------|------|------|
| 断片的な情報から被害の全体像を推測可能 | 2.30 | 3.55 |
| 災害発生後の進展過程を想像可能 | 2.23 | 3.73 |
| 災害対応に必要な人的・物的資源の内容と規模を推測可能 | 2.04 | 3.35 |
| 災害に関連する法制度に基づく業務を円滑に実施可能 | 1.88 | 3.08 |
| 状況の変化を予測し、各時点において適切な対応方針をたてることが可能 | 2.10 | 3.44 |
| 関連する組織・機関との連携を状況に応じて図ることが可能 | 2.26 | 3.49 |

なお、表3.8.2及び表3.8.3に示したのは、研修内容が「自然現象の理解」、「災害関連法体系基礎」、「危機管理総論」などといった基礎的な内容を盛り込んだものであったことを付記しておく。

3.9 防災教育

まず、片田ら¹⁶⁾は、災害情報の伝達状況や避難状況、そして津波による人的被害の状況を表現するシミュレータを開発し、三重県尾鷲市の住民に対して当シミュレータを用いた防災教育を実施するとともに、アンケート調査からその有効性について評価した論文を発表している。アンケート調査は、尾鷲市において開催された津波講演会の中で実施され、調査形式としては、講演の参加者に対して講演資料とともに調査回答様式を配布し、講演の途中でスクリーンに質問項目を提示する形をとっている。この調査結果によると、講演とシミュレーション結果の公開による効果として、講演前と比較して講演後の参加者の避難意向が高まったことが確認されており、具体的には、「テレビで『今後の津波情報に注意』と流れた時点で避難する」と回答した人の割合が、講演前の15%から講演後に51%となったことが明らかになっている。

また桑沢ら¹⁷⁾は、平成16年9月5日に発生した紀伊半島沖と東海道沖で発生した2回の地震における住民の津波意識、避難行動に関わる調査を基に、地震発生からの住民の避難行動の実態を詳細に把握するとともに、津波避難の意思決定構造に関する予測モデルを構築している。さらに、構築した予測モデルを用いて、防災教育などによって住民の意識が改善された場合の効果を把握することを試みている。この研究では、正常化の偏見（自分だけは災害が来ても助かるだろうといった科学的根拠のな

い思い込みを表す)が改善された場合、ある地域の東南海・南海連動型地震の津波による犠牲者数が、意識改善前の1,992人から1,764人に減少する結果となっている。同時に、平時の津波による身の危険度意識が改善された場合、同地域で意識改善前の犠牲者数(1,992人)から約800人が減少する結果となっている。また正常化の偏見及び危険度意識の両者が同時に改善された場合の犠牲者数は785人であり、意識改善前と比較して約1,200人の犠牲者が減少する結果となっている。

小竹ら¹⁸⁾は、実在する埋め立て地を1/100模型で再現した平面水槽での津波造波実験を一般に公開し、実験見学の前後における防災意識の変化について調査している。実験では、地元自治体で想定する津波を再現するため、被害が発生する最低規模の津波を推定している。この実験の一般公開に際しては、実験の見学前に「津波の基礎知識」と題した講義を行っており、津波の発生から伝播に関する物理的な機構や特徴、現在実施されている防災対策の例、また水理模型実験で津波を再現する場合の長所、短所と数値解析との関係について説明を加えている。このようにして行った実験の一般公開では地元の自治会や自主防災組織を中心に110名の参加があり、実験公開に参加する前後での津波防災に関する意識を参加者に回答してもらったところ、参加前は7割の人が津波に対する備えの必要性を認識していた一方で、参加者の1/4は津波に対する備えの必要性を感じていなかったが、参加後は3/4の参加者が津波に対する備えの必要性を認識するに至っており、津波に対する備えの必要性を認識していない人も1割以下に低下した。小竹らは、このアンケート結果から、「水理模型実験は津波のイメージ把握に有効で、想定津波に備えるための動機付けとなり得ることから、防災ツールとしても有効であることが明らかになった」とまとめている。

次に、地域の歴史災害を題材とした防災教育プログラム・教材の効果を定量的に示した事例を紹介する。木村ら¹⁹⁾は、愛知県安城市の小学生を対象とした教育プログラム・教材を開発し、プログラムの実施前後に質問紙に対して回答してもらうことによって教育効果の測定を実施している。教材の内容は1944年東南海地震・1945年三河地震による被災者の体験談をもとにしたものであり、小学校の複数クラス向けの「2時間で学べるプログラム」、1クラスの児童向けの「1年間で学べるプログラム」といった2種類のプログラムによって防災教育を実施している。なお、「1年間プログラム」は、児童自身が防災に関する問題を見つけ、追究し、表現し、自己の行動指針を作るといった流れで進めるものとしている。教育プログ

ラムを評価するための質問紙には、「災害に対する自己評価・理解の変化」を数項目にわたって記載しており、各項目に対して「1. そう思わない～5. そう思う」までの5段階で評価してもらっている。そして各回答を5段階評価に対する点数として1点から5点まで定量化し、この結果として、表3.9.1、及び表3.9.2に示すものが得られている。表中に示す数値は全児童の回答を平均したものである。

表3.9.1 防災教育(2時間プログラム)による効果の測定結果¹⁹⁾

| 項目 | プログラム前 | プログラム後 |
|--------------------|--------|--------|
| 地震がどんな自然現象かを知っている | 3.44 | 3.76 |
| 安城で明日地震が起きてもおかしくない | 3.85 | 4.01 |
| 地震後の生活をイメージできる | 3.44 | 3.63 |
| 地震後の対応を熟知している | 2.92 | 3.43 |
| 地震前の備えを具体的に認識している | 3.45 | 3.86 |

表3.9.2 防災教育(1年間プログラム)による効果の測定結果¹⁹⁾

| 項目 | プログラム前 | プログラム後 |
|--------------------|--------|--------|
| 地震がどんな自然現象かを知っている | 3.46 | 4.54 |
| 地震は自分たちにとって身近な出来事だ | 3.92 | 4.46 |
| 安城で明日地震が起きてもおかしくない | 3.96 | 4.54 |
| 地震後の生活をイメージできる | 3.27 | 3.77 |
| 地震後の対応を熟知している | 2.80 | 3.84 |
| 地震前の備えを具体的に認識している | 3.31 | 4.27 |

この結果から、木村らは、被災者の被災体験談をもとにした教育プログラム・教材には、災害が自分の生活に与える影響についての理解、災害に対する「わがこと意識」の向上、災害に対する具体的な対策・対応行動についての理解を促進し、また1年間を通したプログラムによってそれらの変化を維持・促進させながら、具体的に様々な防災学習・防災活動を実践させる効果があることを明らかにしている。

また、豊沢ら²⁰⁾は、愛知県内の小学校の児童を調査対象として、防災教育前後において意識調査を行い、小学生に対する防災教育の効果を測定している。防災教育の

内容は、「地震に負けるな」というタイトルの講演会であり、教材を体育館の舞台上のスクリーンに映し、説明を行うことを中心としたもので、それに実演を交えたものであった。講演内容は、地震の揺れの現象と地震発生メカニズム、地震がもたらす被害、地震対策の方法に関する説明から構成されている。防災教育効果の測定は、防災教育を行う直前と直後に質問紙を配布して調査項目に回答してもらい、恐怖感情、脅威への脆弱性、脅威の深刻さ、反応効果性といった項目に着目し5件法にて数値化を図ることにより行っている。具体的には、「あなたは地震がこわいですか」という質問に対し、「1点:全然こわくない、2点:あまりこわくない、3点:どちらでもない、4点:少しこわい、5点:とてもこわい」の選択回答といった形で恐怖感情を測定している。脅威への脆弱性は「大地震はすぐにもやってきそうだと思いますか」といった質問で、また脅威の深刻さは「大地震が来たら、あなたや家族がけがをするかもしれないと思いますか」との質問で、さらに反応効果性は「あなたは地震対策をすれば、今よりも命が安全になると思いますか」との質問でそれぞれ効果を測定している。この意識調査の結果、表3.9.3に示すものが得られており、この研究で用いた防災教育について、その直後に一定の効果が見られることが示されている。ただし、豊沢らは、3ヶ月後に同様の意識調査を行った結果、防災教育の効果が3ヶ月後まで持続することがないことも同時に明らかにしており、防災教育の効果を持続させるような試みを日常の学校生活の中に埋め込んでいくことが有効であると考えている。

表3.9.3 防災教育前後の各調査項目への回答の平均値²⁰⁾

| 項目 | 事前 | 事後 |
|---------|------|------|
| 恐怖感情 | 3.90 | 4.20 |
| 脅威への脆弱性 | 3.67 | 3.90 |
| 脅威の深刻さ | 4.18 | 4.36 |
| 反応効果性 | 3.90 | 4.24 |

つづいて、高校生を対象に津波エキスパートによる防災講座を実施し、その効果として、当事者意識と災害時の具体的対策への関心を測定した事例を紹介する。柄谷ら²¹⁾は、宮城県気仙沼市の高校生309名を対象に1時間の津波防災講座を開催し、津波防災知識への理解の変化とそれに伴う当事者意識を測定するため、同一質問を含むアンケート調査を防災講座の前後に質問紙形式で行い、その有意な差を防災教育の効果と定義している。具体的には、①当事者意識の向上として、防災講座受講後の生徒の方が、自分の住む町で発生しうる津波被害状況を、過去の三陸地域の津波被災事例と整合するように自身の

知識を補正していると同時に、②災害時の具体的対策への関心について、講演における知識の習得が、「津波災害に対応できる」という受講前の生徒たちの「自信」を下方修正させ、助かるための心得など、災害時の具体的対策への関心を高めるといった結果を得ている。表3.9.4及び表3.9.5には、調査結果を抜粋したものを示す。表3.9.4は、「近い将来、あなたのまちの港には、どれくらいの津波が来ると思うか」という設問に対する回答結果を、津波防災講座の受講前後に分けて示したものである。また表3.9.5に掲載した数値は、上段に示す項目が「非常に自信がある」もしくは「かなり自信がある」と回答した生徒の人数、下段に示す項目が「非常に心配」もしくは「かなり心配」と回答した生徒の人数である。

表3.9.4は、講座受講後には、近い将来発生する津波に対して、より高くなる、すなわち、被害の深刻さを理解し、自分の住む町のこととしてとらえるようになった(当事者意識の向上)ことが示唆できる。また、表3.9.5からは、受講前の生徒たちの甘い「自信」を知識の習得により修正させたものととらえることができる。

表3.9.4 防災講座受講前後の津波高さの予測に関する意識調査結果²¹⁾

| 回答範囲 | 生徒の回答割合 (受講前) | 生徒の回答割合 (受講後) |
|--------------|------------------|------------------|
| 8m以上の巨大津波 | 約16% | 約27% |
| 3～8mの大津波 | 約27% | 約41% |
| 1～2mのやや大きな津波 | 約21% | 約22% |
| 1m以下のごく小さな津波 | 約21% | 約4% |
| 津波は来ない | 約16% | 約5% |

表3.9.5 防災講座受講前後の津波災害対応への自信・津波被害への心配の変化²¹⁾

| 回答 | 受講前 | 受講後 |
|-----------------------------|-----|-----|
| 津波時に一人きりになっても何とか生き延びることができる | 38名 | 16名 |
| 津波時に自分の家が流されたり、壊れたりする | 38名 | 71名 |

このほかにも、高村ら²²⁾が、一般市民を対象とした地震防災教育のための教材を開発し、その学習効果を確認した事例がある。具体的には、18歳以上を対象とした地震防災教育のための自習用web教材を開発し、複数の被験者による試用を通して教材の簡易的な評価を行ったものである。web教材は、①地震災害の実態、②地震が起こったときの対策、③避難生活と災害復旧、④地震の被害を

抑えるための公的対策と研究、を大項目として合計16の単元から構成されており、各単元の最後に確認問題を配置し、学習内容に対する注意を高めることが出来るよう配慮がなされている。また作成した教材の確認のために5名の被験者に教材を試用してもらい、その効果などについて簡易的な評価を行っている。被験者は全員女性であり、20代の学生1名、30代の主婦3名、50代の主婦1名に協力を仰いでいる。試用と評価に当たっては、まず前提条件を確認するためのテストA（地震による揺れの特徴を答える問題と、震源・震央などの語句の内容として正しいものを選択する問題から成る）を行い、学習効果を確認するためのテストBを行っている。その後実際に教材を試用して学習してもらい、最後に学習効果を確認するためのテストCを行っている。テストB、テストCは正解を選択する問題と具体的な防災対策を挙げる問題で構成されており、難易度はほぼ同じであるが、内容は少し異なっている。またテストB、テストCの問題はそれぞれ教材の16の単元に対応したものである。表3.9.6に各被験者に対するテストB、テストCの採点結果を示す。これによると、5名の被験者の内4名でテストの成績が上昇し、教材による学習の効果が認められる。

表3.9.6 テストB、Cの結果²²⁾

| 被 験 者 | テストB | テストC |
|-------|------|------|
| 被験者 1 | 15点 | 25点 |
| 被験者 2 | 15点 | 16点 |
| 被験者 3 | 17点 | 21点 |
| 被験者 4 | 20点 | 17点 |
| 被験者 5 | 13点 | 19点 |

なお、高村らは、テストの問題の内容について意図が学習者に伝わりにくい部分もあったと考えており、今後、教材のさらなる改善と、より多くの被験者を対象とした試用と統計的な教材の学習効果の評価を行っていく予定としている。

さらに熊谷ら²³⁾は、津波リスクコミュニケーションの目標及び内容を設定し、高知市種崎地区の住民を対象に津波防災に関する講演会を行った。また講演対象者（教育群）に対して、講演会の前後で同一内容のアンケート調査を実施し、講演内容の理解度及び津波リスクコミュニケーションが住民の防災意識水準に及ぼした効果を測定している。講演会の内容は、津波アニメーションと実現象の不確実性、津波避難、地域の避難ルールの必要性の説明を主なものとしており、津波避難シミュレーションによるデモンストレーションやスライド、ビデオ映像を用いたものである。アンケートは、南海地震に関する

知識、津波に関する知識、避難開始のタイミングに関する意向、事前に計画した避難路の安全性、などといった質問項目から構成されている。

講演の効果としては、南海地震を重要な問題として考えている参加者の割合が、構成比で75%から講演後に89%となったことをまず挙げている。また、南海地震の震度が6弱以上になると答えた割合が、講演前の49%から講演後に79%になり、講演により地震の震度を正確に理解した割合が増加したと考えている。ほかにも、津波到達時間を正確に理解した割合がやや増加する（講演前の36%から講演後は44%に）ことを確認している。「避難意向」に関しても、揺れが収まった直後に情報収集を行うとした意向を示した割合が、31%から講演後に17%に減少する結果となっており、「避難路選択」に関しても、事前に計画した避難路安全性の不確実性は、「どちらかといえばないと思う」との回答が38%から講演後には24%になり、「どちらともいえない」との回答が27%から講演後には38%に変化している。

3.10 地震保険

地震防災対策において、財産保護という視点からは、地震保険による損失移転も効果的であると言われている。現在の地震保険には、①「地震保険に関する法律」に規定された地震保険と、②同法以外に損害保険会社が一般住宅以外の建物等を対象に独自に商品化した地震保険との二種類がある。政府及び損害保険会社が運営する一般住宅の地震保険は、1964年の新潟地震を契機に、1966年に制度化されたものである。現状は、火災保険に任意に付帯して付保する仕組みになっており、地震保険のみの付保はできない。保険は損失に対する自己防衛手段として一般に認知度が高いにも関わらず、その効果を検討した研究例は少なく、望月ら²⁴⁾によって損失軽減の効果が定量的に示されているにとどまっている。具体的な②の地震保険に関する地震保険の効果は、東京都内を所在地とした鉄骨鉄筋コンクリート造11階建ての事務所ビルを対象とした数値解析によって示されている。この場合において、損失は物的損失額のみを対象としており、地震による損失と火災による損失は単純に足すものとしている。また倒壊及び全焼が発生した場合は全損としている。これにより、構造被害、電気設備被害などといった被害要因と、大破、中破、倒壊などといった事象に関する発生確率を考慮し、地震の規模を設定した上で（例：基盤最大加速度800cm/s²）、保険による免責を再調達価格の5%、支払限度額を再調達価格の30%とした。試算結果として、年間期待損失額は、保険非加入の場合の2.02百万円

に対して、保険加入の場合では0.61百万円となり、地震保険加入により年間当たり1.41百万円の損失が被保険者から保険会社に移転される。

3.11 その他防災対策一般

ここでは、複数のメニューから構成されると考えられるものを抽出し、防災対策一般による効果としてとりまとめた。

まず、牛山¹⁾は東日本大震災時の市町村別津波浸水域人口に対する犠牲者数の割合を検証することで何らかの防災ソフト対策の効果とする推測を行っている。この場合では、浸水域人口に占める死者・行方不明者数の割合を見ており、多いところで10%以上の値となっていることを明らかにしている。この数字は現代日本の災害としては極端に大きな被害が生じていると考えており、津波の到達した範囲内に居住していた人の8割以上が何らかの形で避難できたとも読み取っている。さらに、かつて岩手県を襲った明治三陸津波で、当時の町村の人口に対して20～50%が犠牲となったケースも少なくないことを明らかにしており、東日本大震災時における犠牲者数の割合との差が何らかのソフト防災対策の成果であると推測しているが、検証が出来ていない点にも言及している。これは、東日本大震災時の津波では、ハード構造物が十分機能しなかった箇所が多いことを根拠にしているものである。

このほか、水害後の地域で防災対策を実施した効果について検証した事例として、松尾ら²⁵⁾が災害前と災害後1年後の避難訓練等への参加割合を5地区別に比較したものがあある。この論文では、住民の防災行動を表す指標として避難訓練等への参加割合を求め、災害前と1年後の比較をしたところ、5地区全体では約14ポイントの上昇（12.7%から26.9%へ上昇）であったが、ある1地区で約70ポイントの上昇（11.3%から81.7%へ上昇）が見られた。この地区では、町役場が災害から半年後に防災マップを作成して各戸に配布したり、広報紙を発行したり、自主防災組織の結成を呼びかけたりするなど防災行動を惹起させる取り組みを行っている。松尾らはこの結果を、「災害直後に行政の働きかけがあれば住民の防災意識を一層高め、防災行動へと誘導できることを示しているといえよう。」とまとめている。

なお、この事例は水害を対象としたものであるが、水害を津波被害とおきかえても差し支えないと考えられることから、津波被害への応用が可能と考えたものである。

4. 津波防災対策の評価方法の紹介

つづいて、2. で述べた文献等調査の結果に基づいて、津波防災ソフト対策の効果を評価する際に用いられている各手法を整理した上で、それらの解説を加えた結果について記述する。これらの手法を大別すると、津波防災ソフト対策の効果を測定する手法は、実地調査によるもの、及びシミュレーション等によるものに分類されるため、以下ではこれらの大分類ごとに各手法の解説等について記述する。

4.1 実地調査

(1) 防災効果把握のための指標類

事業の効果を説明する際によく用いられる手法として、指標類を提示し、その目標値と達成度をチェックするものがある。具体的には、自主防災組織の組織率として、全世帯数に占める組織済み世帯数の割合を指標としたり、防災訓練等の実施状況として参加者の割合を指標としたりするものがよく見られる。また、国レベルで見れば、政策評価を行う過程において「国土の将来像に関する世論調査」、「第20回『防災週間』の実施について」といった資料や情報を参考として使用する場合もある。表4.1.1には、内閣府²⁶⁾において防災に関する普及・啓発の効果を測定するための指標を示す。

表4.1.1 内閣府の防災に関する普及・啓発の
効果測定指標

| 効果測定指標 | 解説等 |
|---|--------------------------|
| 「防災フェア」への参加者数 | 開催地の規模により設定（毎年異なる場所） |
| 「防災ポスターコンクール」での募集ポスター配布枚数、募集リーフレットの配布枚数 | 防災ポスターコンクールの開催を毎年公表 |
| 広報誌「広報ぼうさい」の配布部数 | 毎年作成・公表していく上で、前年以上の水準とする |
| 社会教育教材の配布部数 | 社会教育教材を毎年作成・公表 |
| 「防災フェア」等におけるアンケート配布数・回収数 | 回収数が年々増加 |
| 「防災フェア」におけるアンケートで「有益だった」と評価する割合 | 参加者数の過半数の水準が目標 |
| 「防災ポスターコンクール」への応募数 | 前年度実績の7割以上の応募を目標とする |

(2) アンケート調査

次に防災に関する効果を把握するための手法として一

般的にあげられるのが、アンケート調査によるものである。以下に、収集した文献からいくつかの事例を挙げる。

a) 事例 1：防災訓練前後の参加者の理解・認識の違いを把握するためのアンケート調査を行政機関の職員を対象として行ったもの¹⁴⁾があり、訓練前後の理解度の違いを具体的に把握することを目的として、回答欄を「よく理解している」、「理解している」、「ふつう」、「あまり理解していない」、「理解していない」の 5 段階に分けて質問を行うものである。なお効果の測定は、訓練前後の回答者数の比較によって行う。

b) 事例 2：地区住民に対して専門家による防災教育を実施した効果を計測するため、アンケート調査項目として、①災害への不安、②ハード施設への依存心、③行政への依存心、④自助必要性の認識、⑤共助必要性の認識、⑥自助意向、⑦共助意向を設定し、これらの項目それぞれについて、7 段階の主観的評価を「非常にそう思う」、「非常にそう思わない」などに分けて回答を求めているもの²⁷⁾がある。効果の測定は、それぞれの回答について「非常にそう思う」を「+3 点」、「全くそう思わない」を「-3 点」といった形で数値化し、回答を行った人々の平均値で防災意識の高さを測定するものである。

c) 事例 3：住民の津波防災意識水準を「リスクの存在を考えたことがない」、「リスクの存在に気づく」、「リスクを深く理解する」、「対処方法を理解する」、「対処行動を実行する」といった 5 段階に分類し、講演会実施によって聴衆の防災意識に及ぼす効果を測定しているもの²⁸⁾がある。ここでは、対象地区住民の津波防災意識水準に応じた内容の講演会を行い、講演会前後で同一内容のアンケートに対する回答を得ることによって、「リスクへの気付き」、「リスク内容の理解」、「避難意向」、「避難準備時間」といった項目について到達度の評価を行っている。効果の測定は、例えば、南海地震を重要な問題と考えている人々の割合が講演会前後でどのように変化しているかを検証する形で行う。

d) 事例 4：防災学習での事前・事後の防災に関する意識・知識の変化についてアンケート調査を用いた評価を行った事例²⁹⁾があり、アンケートは、①災害一般について、②南海地震について、③住んでいる町の避難所等について、④防災組織について、⑤防災活動への関心度、⑥防災ボランティア活動について、の 6 区分で構成されている。防災意識の変化を評価するに際しては、各人からの回答に対し、意識の最も高い場合を 2 点、意識の最も低い場合を 0 点、これらの中間を 1 点として母集団の分を集計し、防災学習の前後において一人当たりの平均値を比較する方法をとっている。

e) 事例 5：東南海・南海地震発生時の津波による被害が大きいと考えられる 5 カ所の海水浴場において、海水浴場利用者を対象とした津波防災意識に関するアンケート調査を実施した事例¹⁰⁾があり、この中では、アンケート項目を「避難開始時間」「避難場所」「津波に対する危険認知度」「津波が来襲する可能性」「避難訓練への参加意思」「過去の津波災害」「行政指定の避難場所の周知度」「津波ハザードマップの周知度」といったものとし、それぞれの項目に対して、意識の高低に応じた 2 段階から 7 段階の回答を設けている。これにより津波防災意識の高低を測定する際、防災意識の高いと考えられる回答を示した人々の割合を地域別に比較する方法をとっている。

4.2 シミュレーション等

(1) 地球温暖化対策事業効果算定ガイドブックの応用
環境省は平成23年に、「低炭素化促進のための施策について概算要求前に事前の効果測定を行う仕組みを構築すべき」との指摘を受け、地球温暖化対策のさらなる効果的・効率的な推進の観点から、予算要求段階での二酸化炭素削減効果の推定方法を示すため、「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」³⁰⁾を平成24年7月に作成している。本ガイドブックでは、ソフト対策の例としてクールビズやエコドライブへの普及啓発、フォーラムの開催、ホームページや広告を使った情報発信が挙がっており、省エネ行動実行数と二酸化炭素削減原単位を設定しソフト対策の効果を評価する手法についての記載がなされている。その内容を次式に示す。

$$R = k \cdot Q$$

$$Q = D + I$$

$$D = N_p \cdot a_1$$

$$I = S \cdot a_2$$

ここに、Q：省エネ行動実行数（導入量）

k：二酸化炭素削減原単位

R：二酸化炭素削減量

D：直接導入量

I：波及導入量

N_p：イベント等参加者数

a₁, a₂：想定実行率

S：潜在者数

具体的な効果としては、ソフト対策が直接クールビズなどの省エネ行動を呼びかける人数や事業所数などによ

る二酸化炭素削減量を直接効果と名付けており、こうした直接効果に加え、ソフト対策終了後に発生する波及的な削減効果についても算定の対象としている。波及効果の例としては、ソフト対策であるイベントへの参加者が、家族や知人へ省エネ行動を口コミ等により伝えていくことにより、将来的にその省エネ行動の認知度や浸透度が拡大することを想定している。

算出方法については、ソフト対策の導入量として省エネ行動の実行数（例：人数、世帯数、事業所数、施設数）を基準として考え、その上で、イベント（シンポジウム、研修・講習会）の参加者数、広告の回数等から視聴者数を設定し、その参加者数等に省エネ行動をとることが想定される実行率を掛け合わせて導入量を設定している。また、波及的な導入量の設定方法は日本国内における全世帯数や施設数等を潜在的な導入量とし、それに想定される時点（例えば2020年や2030年時点といった将来の時点）での実行率を掛け合わせて実際の導入量を算出するものである。

ここでは、以上に述べた地球温暖化対策に関するソフト対策の効果算出についての考え方を津波防災に関するソフト対策に応用することが可能と考え、防災講座や防災の日イベントといった普及啓発、行政機関のホームページや政府広報等の広告を用いた情報発信、といったソフト対策の効果を算出する手法について提示する。

具体的には、防災に関する行動（事前の準備、災害時の避難行動等）を実施する人々の実行者数といったものをソフト対策の効果としてとらえ、算出方法として地球温暖化対策に関するソフト対策と同様の考え方をを用いることが可能と考えたものである。すなわち、防災の日イベント等の参加者数に対して、防災行動をとることが想定される実行率を掛け合わせて直接の効果を、またイベントへの参加者が家族へ防災意識を口コミ等により伝えていくことで防災に対する意識の向上が図られ、防災行動につながる波及的な効果をそれぞれ算出するものである。次に、ソフト対策における防災行動実行効果のイメージを示す。

$$Na = D + I$$

$$D = Np \cdot a1$$

$$I = S \cdot a2$$

ここに、Na：防災行動実行者数

D：直接効果

I：波及効果

Np：イベント等参加者数

a1, a2：想定実行率

S：潜在者数

なお、想定される実行率として具体的にどのような数値を用いるかについては、ソフト対策により防災に関する意識が高まったものと仮定し、例えば、中央防災会議における津波被害者数想定的前提条件で用いられているように、津波に対する避難意識が高い場合の避難率を用いる方法³¹⁾が考えられるが、今後、例えば、実際に災害が起こった場合の事後アンケート調査等を行うことにより、実行率に関する数値の精緻化を図っていく必要があるものと考えられるところである。

(2) 津波避難の意思決定構造に関する予測モデル

実際に発生した地震時における実態調査をもとに、地震発生からの住民の避難行動を詳細に把握し、それを踏まえて津波避難の意思決定構造に関する予測モデルを構築したもの¹⁷⁾がある。実態調査においては、「地震の体感震度」、「平時の津波による身の危険度意識」（地震発生以前から津波が発生した際には身に危険が及ぶと思っていた住民ほど、避難しようとする）と仮定した、「正常性バイアス指標」（地震などの異常が発生しているにもかかわらず、日常的に慣れ親しんでいる正常な状態を前提にして楽観視しようとする心理である「正常化の偏見」の有無を表現しようとする変数である）、「自宅危険度」、「事前対策状況」（防災訓練の参加や非常持ち出し品の準備、災害時の対応に関する家族との相談などの津波に備えた日頃の備えの行動の実施率を点数化した変数）を明らかにしており、これらを説明変数として、被説明変数を「避難意向有り（地震動）」、「避難意向有り（情報など）」、「避難想起あり・意向なし」、「避難想起なし」の4分類で個々人の津波避難行動の意思決定状況を定量的に表現している。ここで、「説明変数」とは原因側のデータを指し、「被説明変数」とは予測モデルによる結果側の変数を指すものと考えれば理解しやすい。

また説明変数と被説明変数は質的（定性的）なデータであり、これらを定量的に表現するため数量化理論2類という手法を用いている。数量化理論2類というのは、アンケート回答などの回答傾向から、ある人がどのような津波避難行動をとるかについてモデルを作成することにより定量的に予測する手法と考えて良い。

(3) 津波数値シミュレーション

一般的な津波数値シミュレーションでは、非線形長波理論式を用いて津波の伝播計算を行い、陸上での津波の浸水深がある程度以上の値になったときに人的被害が生

じるとして、水門や陸閘の開閉、または避難開始のタイミングを変化させて人的被害を予測している。手順としては、まず現地の海域から陸域に至るまでの地形と水深、陸上における防潮堤等の高さといった各種データを作成し、差分計算によって津波の海域での伝播波高などとともに陸上での浸水深などを算出し、水門・陸閘の門扉の開口幅と高さに合わせて通過流量を制御する方法によって水門・陸閘通過時における流れの様子を数値計算で表現し、人的被害については避難の際の歩行速度を一定として、ある時点において「住民が移動している区域内の陸上部面積」に占める「浸水深が50cm以上である浸水面積の区域」の割合から算出するもの⁴⁾である。なお、地震による家屋倒壊などで発生する人的被害は考慮せず、被害によるパニックや負傷者の救出などの不確定要素をはじめ、地震被害による避難経路の寸断など避難の障碍（しょうがい）については考慮していない。ほかに、避難に関する過程を精緻化したものとして、災害情報が各種メディアや住民間の情報伝達行動を介して住民個人に伝達されていく過程を表現するとともに、その後には生じる住民の避難状況と地震発生から刻々と変化する津波の氾濫状況の時間的、空間的な関係から人的被害を推計可能なモデル¹⁶⁾もある。この方法では、津波の氾濫域内に避難者が存在していた場合に人的被害が発生するとしている。このほか、人的被害の推計モデルとして、津波警報の発表から沿岸部への津波到達までのリードタイムとそれに応じた避難率、および津波浸水深に対する死亡率についてFragility関数（浸水深と死亡率等の被害率との関係を示した関数）を利用することによって考慮したモデル⁹⁾もある。以上に挙げたこれらの方法は現在ではパソコンでの計算も可能であり、津波の伝播計算に当たり比較的精度の高い3次元計算モデル³²⁾も存在するが、実際の計算には手間と時間が必要である。なお、津波数値シミュレーションにおいては、避難者の行動は個人の属性によらず一定であり、避難速度を高齢者のものに統一するといった形で計算に反映している。

(4) 津波避難シミュレーション

避難者と避難者が行動する市街地空間から構成されるモデルによって防災対策の評価を行うものであり、避難者は年齢、歩行速度、混雑度、防災意識、疲労を属性として持ち、避難者が地震発生後に避難開始時刻、避難速度を決定し、既知の避難地に向かう行動をモデル化したもの³³⁾である。この中では、避難者の防災意識は避難開始時刻に関係し、防災意識の高い避難者ほど地震発生直後に避難し、そうでない避難者は避難開始時期が遅れるといった形でシミュレーションに反映させている。また、

避難訓練の効果を、避難に要する時間が最短であるような避難経路網を選択する行動をとる形でシミュレーションに反映させている事例³⁴⁾もある。結果的に、ソフト対策の効果は、一定時間内に避難地までたどり着いた避難者数で計測することになる。

(5) 地震保険加入による効果の算出法²¹⁾

端的に表現すると、「保険非加入の場合に個人が負う損失額」と、「保険加入の場合の被保険者の損失額と保険料を足しあわせたもの」との差と言うことになる。損失額を算出する場合には、損失の発生確率と災害による損失規模を掛け合わせる方法による。なお、保険に加入した場合には、保険会社が損失を負担するため、災害発生の確率を考慮した期待損失額について、保険非加入の場合と加入の場合とで差が出てくることになる。これが地震保険加入による損失の軽減効果である。

なお、保険会社に移転される分は、保険会社の支払限度額と免責額を考慮する必要があるため、以下に示す表現を用いたものであり、被害が支払限度額に及ばない場合には、上から三つ目の式が「保険会社移転分＝支払額－免責額」となる。

また大きな災害が起こった場合、保険会社が支払限度額までしか保障できない場合も考えられるが、この場合には地震保険による効果は「支払限度額－免責額－保険料合計」で求められることになる。

以上の概念を次式に示す。

(保険非加入の場合)

$$L = p \cdot N$$

(保険加入の場合)

$$L = p \cdot N - D + T$$

$$D = lm - d$$

(保険加入の効果)

$$E = D - T$$

ここに、L：損失額

p：災害発生確率

N：被害規模

D：保険会社への移転分

T：保険料

lm：支払限度額

d：免責額

E：保険加入の効果分

5. まとめ

以上のように、防災ソフト対策の評価に関して述べた事例の紹介を行うとともに、評価方法の紹介を行った。結果的に、ハザードマップ、防災教育から地震保険まで11項目にわたる対策メニューに対してその評価に関する事例を示すことができた。それと同時に、評価の方法についても、アンケートや実地調査によるものを数種類示すとともに、数値シミュレーションの事例も数種類にわたって示すことができた。ハード対策実施前に行う費用対効果分析と同様、ソフト対策の効果を事前に評価することには不確実性が伴っているが、適時のモニタリング等によって事業実施効果についての知見を蓄積するなど、PDCAサイクルの構築を図っていくことも必要になってくる可能性があると思われる。また、環境省の「地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック」も、その内容が暫定的なものであり、今後算定手法等について適宜リバイズしていく予定であることに触れている。

本資料では、ソフト対策の項目別に、対策の効果を定量的に測定した事例、及び評価方法について述べた。防災ソフト対策の効果を定量的に把握する際、これらの事例を類似事例に当てはめるといった対応をとっていくことも可能であると考えられるが、その場合には、出されている数値についての前提条件や、用いられている場面に十分配慮する必要がある。

また、アンケート調査は防災意識の向上効果を検証するためのものが大多数であり、防災教育や防災訓練、あるいはワークショップといったソフト対策の実施による効果を裏付けることを目的に行われているものである。ハザードマップ作成の効果についても、実際に災害の起こった地域に対してアンケート調査を行ってハザードマップの認知度や避難開始時刻、実際に避難したタイミングといった項目を調査するなど工夫と取り組みを重ねていく必要がある。

(2015年8月31日受付)

参考文献

- 1) 牛山素行(2011): 災害情報という防災対策は難しい, 第35回日本科学教育学会シンポジウム「非常時を乗り越える科学教育」予稿
- 2) 群馬大学工学部建設工学科都市工学講座片田研究室(1999): 平成10年8月末集中豪雨災害における郡山市内の対応行動における調査報告書
- 3) 加藤史訓, 諏訪義雄, 桜井淳, 安藤章, 川除隆広(2009): 避難意思決定要因に基づく津波避難ワークショップの効果分析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. B2-65, No. 1, pp. 1356-1360
- 4) 志方建仁, 村上仁士, 上月康則, 大谷寛, 宮本大輔(2005): 津波による人的被害最小化因子の影響度評価について, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 281-285
- 5) 栗田哲史, 荒木田勝(2006): インド洋津波被災地の津波リスクに関する意識の地域特性, 地域安全学会論文集 No. 8
- 6) 富田孝史・本多和彦・菅野高弘・有川太郎(2005): インド洋津波によるスリランカ, モルディブ, インドネシアの被害現地調査報告と数値解析, 港湾空港技術研究所資料, No. 1110, pp. 35
- 7) 土木学会インドネシア・ニース島地震応急復旧・復興支援チーム(2005): 「インドネシア・ニース島地震応急復旧・復興支援チーム」速報, 土木学会誌 vol. 90, No. 7, pp. 51
- 8) 土木学会・日本地震工学会合同スマトラ沖地震津波詳細現地調査団(2006): スマトラ島沖地震・インド洋津波によるスマトラ島北西海岸での被害(速報), 土木学会誌 vol. 91, No. 10, pp. 50
- 9) 内閣府防災情報ホームページ: 南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要
- 10) 杉本晃洋, 大年邦雄, 石垣泰輔, 島田広昭(2011): 海水浴場利用者の津波防災意識に及ぼす防災教育や対策の効果, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 67, No. 2, I_547-I_552
- 11) 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
- 12) 竹内政彦, 越村俊一, 目黒公郎(2008): 多目的ブイを用いたネットワーク型津波警報システムの人的被害軽減効果に関する研究, 海岸工学論文集, 第55巻, pp. 1416-1420
- 13) 片田敏孝, 桑沢敬行(2006): 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62(3), pp. 250-261
- 14) 坂口哲夫, 渡部文人, 佐光洋一, 河合水城, 萩原陽一郎, 屋木わかな, 米山賢(2013): 大規模土砂災害に対する防災訓練の効果測定と結果の活用について, 砂防学会研究発表会概要集2013号B ページ B. 194-B. 195
- 15) 照本清峰・越山健治(2011): 地方自治体防災担当職員を対象とした研修プログラムの効果と課題, 地域安全学会論文集, No. 14
- 16) 片田敏孝, 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平(2004): 津波災害シナリオ・シミュレータを用いた尾鷲市民への防災教育の実施とその評価, 社会技術研究論文集, Vol. 2, pp. 199-208
- 17) 桑沢敬行, 金井昌信, 細井教平, 片田敏孝(2006): 津

- 波避難の意思決定構造を考慮した防災教育効果の検討, 土木計画学研究・論文集, No. 23, no. 2, pp. 345-354
- 18) 小竹康夫, 荒木進歩, 松村章子, 三宅達夫(2007): 地域防災教育を目的とした津波実験公開の試み, 土木学会地震工学論文集, pp869-873
- 19) 木村玲欧, 林春男(2009): 地域の歴史災害を題材とした防災教育プログラム・教材の開発, 地域安全学会論文集, No. 11
- 20) 豊沢純子, 唐沢かおり, 福和伸夫(2010): 小学生に対する防災教育が保護者の防災行動に及ぼす影響—子どもの感情や認知の変化に注目して—, 教育心理学研究, 第58巻第4号, pp480-490
- 21) 柄谷友香, 越村俊一, 首藤伸夫(2003): 津波常襲地域における持続可能な防災教育に向けた防災知識の体系化に関する研究—気仙沼市の高校を対象とした津波防災講座を事例として—, 海岸工学論文集, 第50巻, pp1331-1335
- 22) 高村早織, 盛川仁, 松田稔樹(2005): 一般市民を対象とした地震防災教育教材の開発と学習効果の評価に関する基礎的検討, Proc. 28th JSCE Earthquake Engineering Symposium
- 23) 熊谷兼太郎, 小田勝也, 片田敏孝, 本間基寛(2008): 津波リスクコミュニケーションの効果の測定手法及び測定事例, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM)
- 24) 望月智也, 中村孝明, 木村正彦, 星谷勝(2002): 損失に対する主観金額を考慮した地震保険の最適化, 土木学会論文集No. 703/I-59, pp. 203-210
- 25) 松尾裕治, 山本基, 大年邦雄(2009): 犠牲者ゼロ水害の体験と住民の防災意識・防災行動との関連に関する考察—2001年高知県西南部豪雨災害の追跡調査の結果から—, 地域安全学会論文集No. 11
- 26) 内閣府ホームページ: 内閣府の政策評価
- 27) 片田敏孝, 金井昌信, 望月準(2005): 住民に対する土砂災害教育のあり方とその効果・波及に関する研究, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM)
- 28) 片田敏孝, 本間基寛, 小田勝也, 熊谷兼太郎(2008): 津波防災教育の効果計測手法に関する検討, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM)
- 29) 黒崎ひろみ, 中野晋, 山本博之, 木村泰之, 浜大吾郎(2006): 中学校における沿岸防災教育の実施とその有効性, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1316-1320
- 30) 環境省地球環境局(2012): 地球温暖化対策事業効果算定ハンドブック<初版>
- 31) 内閣府防災情報のページ: 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第7回会合資料1, 平成23年東日本大震災における避難行動等に関する面接調査(住民)分析結果
- 32) 富田孝史, 廉慶善, 鮎貝基和, 丹羽竜也(2012): 東北地方太平洋沖地震時における防波堤による浸水低減効果検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, I_156-I_160
- 33) 渡辺公次郎, 近藤光男, 野澤征司, 星野弘明(2007): 防災に関するソフト的施策を評価するための津波避難シミュレーションモデルの開発, 都市計画研究講演集, Vol. 5, pp. 17-20
- 34) 久保田恭平, 田所良太, 長崎友紀, 竹内光生(2007): 津波避難誘導計画及び避難訓練の効果に関するMASシミュレータ分析, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp. 320-321

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 861 September 2015

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019