

津波災害廃棄物発生要因分析とリスク軽減策の検討

要旨

建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を事前に推計し、各市町村の災害廃棄物処理計画に反映させておくことが重要である。こうした社会要請に応じて、建物由来津波災害廃棄物の高度な推計モデルが開発されてきたものの、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性は十分に考慮されていない。そこで、本研究では、災害廃棄物ポテンシャルの削減を期待できる津波対策が進められている静岡県遠州七市を研究対象地域として、南海トラフ巨大地震発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を推計し、さらに、複数の推計結果を比較することで、地域に即した削減施策のあり方についても検討した。推計値の不確実要因としては、「津波断層モデル」、「堤防破壊条件」、「海岸保全施設の整備」、「空き家の撤去」を考慮した。定量分析の結果から、第一に、「津波断層モデル」と「堤防破壊条件」を起因とした建物由来津波災害廃棄物「量」の「ずれ」は最大 958 万トンにものぼり、後段の処理プロセスでの柔軟な対応が必須であることを示した。第二に、「海岸保全施設の耐震化」と「レベル1津波対策施設の整備」による建物由来津波災害廃棄物「量」の削減効果はそれぞれ最大 34 万トン、582 万トンにものぼり、その削減効果と人命や財産の保護効果は表裏一体であることから、浜松市のような費用対効果が高い地域では、レベル1津波対策施設の早急な整備が賢明であることを示した。第三に、「腐朽や破損のある木造一戸建て空き家の撤去」による建物由来津波災害廃棄物「量」の削減効果は最大でも 6 万トンにとどまるが、空き家由来災害廃棄物処理費用のフリーライドから脱却するために、国の積極的関与が望ましいことを示した。最後に、静岡県へのヒアリングも通して、推計値の「ずれ」を許容している地方公共団体のニーズに歩み寄った建物由来津波災害廃棄物の推計モデルを追及していくこと、複数の部署で災害廃棄物対策について対話できる場を設けていくことを提言した。

キーワード

1. 津波災害廃棄物、2. 建物、3. 不確実性、4. 削減施策、5. 海岸保全施設

1. はじめに

1-1. 研究背景

1995年の兵庫県南部地震、2004年の新潟県中越地震、2011年の東北地方太平洋沖地震、2016年の熊本地震など、わが国は幾度となく巨大地震による災害を経験してきた。地震調査研究推進本部地震調査委員会では、南海トラフ巨大地震が三十年以内に発生する確率は70パーセントと見積もられており、過去の震災から学んだ教訓を活かしつつ、切迫が指摘されている南海トラフ巨大地震の脅威から安全かつ安心な社会を構築していくために、最大クラスの被害が想定されている[1][2]。例えば、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループでは、南海トラフ巨大地震が発生した場合、全国の建物全壊棟数が最大239万棟にもものぼると推計されており、損壊した建物からは、莫大な量の災害廃棄物の発生がうかがえる[3]。実際、環境省巨大地震発生時における災害廃棄物対策検討委員会では、南海トラフ巨大地震が発生した場合、全国の災害廃棄物発生量が最大3.2億トンにもものぼると推計されており、これは東日本大震災の16倍に相当する[4]。

一般に、廃棄物の処理及び清掃に関する法律第二条、第六条の二、第二十二條から、各被災市町村が災害廃棄物処理事業の主体と解釈されており、災害廃棄物対策指針や静岡県災害廃棄物処理計画においても、各被災市町村が処理主体と明文化されている(補注(1)参照、補注(2)参照、補注(3)参照)[5][6]。また、仮置場の選定や確保、必要な運搬車両台数や処理施設能力の把握など災害廃棄物の解体、収集、運搬、処理という後段のプロセスについて、各被災市町村が災害前に想定しておくべきコンテンツは、「どのような(「質」)災害廃棄物が「どれくらい(「量」)発生しうるのか」に大きく影響される。

ゆえに、迅速、効率的、適切な復旧や復興に向けて、南海トラフ巨大地震による災害廃棄物「質」「量」を小スケールで事前に推計し、各被災市町村の災害廃棄物処理計画に反映させておくことが重要である。

しかし、環境省大規模災害発生時における災害廃棄物対策検討会が実施したアンケートによると、災害廃棄物「質」「量」を推計するにあたり、全国1503市町村のうち、69パーセントが推計モデル、ハザード、パラメータの選択いずれかに課題を抱えており、例えば、推計済みの愛知県豊橋市と愛知県田原市を比較してみても、対象としたハザードはそれぞれ過去地震最大モデルと理論上最大モデルであり、市町村により推計手法は異なる[7][8][9]。まずは、災害廃棄物「質」「量」を推計するために、災害廃棄物「質」「量」の主な発生要因を特定しなければならない。

鶴房らは、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災26市町村を研究対象地域として、災害廃棄物「質」「量」の発生要因を探るなかで、「津波浸水域内建物用地面積」と「災害廃棄物「量」」には強い相関関係があることを示している[10]。ただし、国土交通省出典の津波浸水面積(単位はヘクタール、小数点以下は端数処理)に、2006年の土地利用細分メッシュデータをもとにした国土地理院出典の津波浸水域内土地利用別面積割合(単位はパーセント、小数点以下は端数処理)を乗じ、津波浸水域内建物用地面積を概算しており、データの精度に難がある[11][12]。改めて、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災27市町村を研究対象地域として、2009年の土地利用細分メッシュデータ(国土交通省国土政策局の国土数値情報より)、津波浸水域データ(国土交通省都市局の復興支援調査アーカイブより)、市町村界データ(政府統計の総合窓口(e-Stat)より)のオーバーレイ、ジオメトリ演算により算出した「津波浸水域内土地利用別面積」を説明変数、文献調査により整理した「災害廃棄物「量」」を目的変数に実施した最小二乗法による線形単回帰分析の決定係数をそれぞれ比較すると、確かに、「津波浸水域内建物用地面積」と「災害廃棄物「量」」には強い相関関係がみられた[13][14]。Yanらは、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災27市町村を研究

対象地域として、国土交通省が四つに区分した「建物被災別浸水区域面積(A 区域:多くの建物が全壊した区域, B 区域:多くの建物が半壊した区域, C 区域:多くの建物が一部損壊した区域, D 区域:多くの建物が被災していない区域)」と「災害廃棄物「量」」の相関関係を比較することで、取り分け、「A 区域」と「災害廃棄物「量」」には強い相関関係があることを示している[15]。二つの先行研究より、建物被災が災害廃棄物「質」「量」の主な発生要因であると推察できる。岩手県および宮城県における東日本大震災時の災害廃棄物「質」「量」をみると、コンクリートがらが全体の 50 パーセント以上を占めている。コンクリートがらとは、建物や建物基礎の解体から発生するコンクリート片やコンクリートブロックなどを指すことから、建物被災が災害廃棄物「質」「量」の主な発生要因であると推察できる[16]。

また、津波災害廃棄物は海水を被った混合廃棄物であり、不燃物の分別や除去が必要となるなど、あるいは、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン(PCDDs: Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins)、ポリ塩化ジベンゾフラン(PCDFs: Polychlorinated dibenzofurans)、コプラナーポリ塩化ビフェニル(Co-PCBs: Coplanar polychlorinated biphenyls)といったダイオキシン類の発生を抑制するために、除塩が必要となるなど、処理行程の複雑化にも起因し、東日本大震災における災害廃棄物等処理単価は 3.7(万円/トン)と、阪神淡路大震災より 1.5(万円/トン)高い[17][18][19]。

ゆえに、処理時間短縮、処理費用削減、環境配慮を目指すためには、南海トラフ巨大地震による建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を小スケールで事前に推計し、各被災市町村の災害廃棄物処理計画に反映させておくことが極めて重要である。

しかし、地震の揺れによる倒壊後に津波で流出するなど、建物被災要因の重複は避けられず、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループでは、液状化、地震の揺れ、急傾斜地崩壊、津波、火災消失の順番で被災要因が割り当てられているため、静岡県建物の全壊棟数 31.9 万棟のうち、津波による建物全壊棟数は 3 万棟と過小に見積もられており、空間集計単位も都道府県レベルであることから、このデータをもとにした建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計は精度に難がある[20]。同様に、静岡県第 4 次地震被害想定調査では、液状化、地震の揺れ、津波、火災消失の順番で被災要因が割り当てられているため、静岡県建物の全壊棟数 30.4 万棟のうち、津波による建物全壊棟数は 2.6 万棟と過小に見積もられており、空間集計単位も市町レベルであることから、このデータをもとにした建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計も精度に難がある[21]。

したがって、南海トラフ巨大地震による建物津波被災棟数を小スケールでモレなく推計したうえで、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を推計しなければならない。こうした社会要請に応えようと、建物由来津波災害廃棄物の推計方法は高度化してきた。

Hirayama らは、ハザードマップを使用した災害廃棄物の推計方法を提案している[22]。この研究を応用した平山らは、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県を研究対象地域として、世帯数データと津波浸水域データをオーバーレイし、津波浸水域内世帯は一律全壊と設定することで、東日本大震災による津波被災世帯数を算出している[23]。さらに、阪神淡路大震災の実績値をもとに設定した建物由来津波災害廃棄物発生量原単位(トン/棟)を津波被災世帯数に乗じることで、建物由来津波災害廃棄物「量」を 2 分の 1 地域メッシュレベルで推計している。山中らは、徳島県徳島市、香川県高松市、愛媛県松山市、高知県高知市の四市を研究対象地域として、建物データと津波浸水深データをオーバーレイし、津波浸水深が 2 メートル以上は一律全壊、津波浸水深が 2 メートル未満は一律半壊と設定することで、東南海・南海地震による建物津波被災棟数を算出している[24][25]。さらに、東日本大震災における「被災区分別建物被災棟数」と「災害廃棄物「量」」の重回帰分析結果をもとに設定した被災区分別の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位(トン/棟)を建物津波被災棟数に乗じることで、建物由来津波災害廃棄物「量」を市レベルで推計している。横山らは、浜松

市、磐田市、掛川市、袋井市、湖西市、御前崎市、牧之原市の静岡県遠州七市を研究対象地域として、2 階以下の建物を木造、3 階以上の建物を非木造と仮定したうえで、建物データと津波浸水深データをオーバーレイし、木造の場合、津波浸水深が 2 メートル以上は一律全壊、津波浸水深が 2 メートル未満は一律半壊、非木造の場合、津波浸水深が 3 メートル以上は一律全壊、津波浸水深が 3 メートル未満は一律半壊と設定することで、南海トラフ巨大地震による建物津波被災棟数を算出している[26]。さらに、文献調査やヒアリングにより設定した構造別被災区分別の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位(トン/平方メートル)と建設資材投入割合を津波被災建物の延床面積に乗じることで、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を建物レベルで推計している。

1-2. 研究目的

建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計には、津波発生の「いつ(時期)」「どれくらい(規模)」の不確実性が伴う。例えば、尾崎らのように、津波発生の「いつ」が現在、「どれくらい」が複数ケースの推計事例は散見されるものの、南海トラフ巨大地震発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を十分に考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の推計事例は見当たらず、推計に推計を重ねている節がある[27]。

建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計が、変数と確率で計算される複数シナリオのうちの最大想定を基本としているのに対して、災害後のレジリエントな処理のためには、事前推計との「ずれ」が生じることを前提としたマネジメントモデルが重要であるため、近視眼的な推計のみでの対応には難があり、取り分け、津波発生の「いつ」という変数を動かして、長期的視野に立脚した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計が求められるであろう。なぜなら、中央防災会議が「震度 6 弱以上の地域」、「3メートル以上の津波の来襲が予想されているものの、この水位を上回る海岸堤防がない地域」、「過去の被災履歴や防災体制の確保の観点から、配慮が必要な地域」という基準をもとに指定した「南海トラフ地震防災対策推進地域」では、海岸保全施設整備などの津波対策が講じられているため、潜在的な建物由来津波災害廃棄物「質」「量」は大幅に減少していくと考えられるからである(補注(4)参照)[28][29]。海岸保全施設整備などの津波対策による建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の削減効果が大きい(小さい)ということは、建物津波被災棟数の削減効果も大きい(小さい)ということであり、人命や財産の保護効果も大きい(小さい)ということが示唆される。ゆえに、津波対策を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を推計すれば、津波対策による削減効果の大小をベースにして、地域に即した津波対策や削減施策の妥当性の検討にもつながる。

そこで、本研究では、南海トラフ巨大地震発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」を小スケールで事前に推計し、地域に即した削減施策のあり方を比較検討することを目的とする。

1-3. 研究の新規性と意義

コンティンジェントな建物由来津波災害廃棄物の推計モデル構築に向けて、将来の社会シナリオに応じた津波対策も含めるなど、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮している点が新しい。複数の推計結果を比較し、「ずれ」の要因を分析することで、仮置場の選定や確保、必要な運搬車両台数や処理施設能力の把握など災害廃棄物処理プロセスで柔軟に対応していくための災害廃棄物処理計画を考える材料となりうる。また、他の政策と連携するなどして、災害廃棄物「質」「量」削減を狙う方法については深く議論されていないなか、津波対策に起因する建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」が大きい場合には、津波対策と災害廃棄物対策を一緒に考えていくことの重要性を示すとともに、津波対策の妥当性を裏付ける材料ともなりうる。

2. 研究方法

2-1. 先行研究のレビュー

「研究目的」の項でも記したとおり、建物由来津波災害廃棄物の推計方法は高度化してきたものの、狭義の意味で津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を十分に考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の推計事例は見当たらない。広義に解釈すれば、尾崎らの推計事例と大西らの推計事例では、意図せず、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性をわずかに考慮していると捉えられるかもしれない[30]。

大西らは、三重県全域を研究対象地域として、建物データ、「防潮堤が機能する場合（海岸や河川にある護岸、防潮堤、防波堤などが地震による被災をせず、本来の機能を発揮する場合）」と「防潮堤が機能しない場合（海岸や河川にある護岸、防潮堤、防波堤などが地震による被災をし、本来の機能を発揮しない場合）」それぞれの津波浸水深データ、人口集中地区データをオーバーレイし、防潮堤機能の有無ごとの津波浸水域内建物棟数に中央防災会議が設定した人口集中地区内外ごとの建物津波被災確率を乗じることで、南海トラフ巨大地震による建物津波被災棟数を二パターンで算出している。さらに、文献調査により設定した建物由来津波災害廃棄物発生量原単位(トン/平方メートル)を津波被災建物の延床面積に乗じることで、防潮堤機能の有無ごとの建物由来津波災害廃棄物「量」をメッシュレベルで推計している。すなわち、尾崎らと同様に、津波発生の「いつ」が現在、「どれくらい」が複数ケースの推計事例といえよう。

一方で、地域に即した災害廃棄物「質」「量」削減施策のあり方について言及している研究は散見される。

先ほどの大西らの研究では、「防潮堤が機能する場合」と「防潮堤が機能しない場合」の建物由来津波災害廃棄物「量」を比較することで、防潮堤機能の差異による建物由来津波災害廃棄物「量」抑制効果を把握し、大きな抑制効果が確認できた地域では、防潮堤強化が建物由来津波災害廃棄物「量」削減につながることも指摘している。

多島らは、市町村が廃棄物処理システムの災害レジリエンスを自己評価し、対応力向上策の検討に活用するために開発した「廃棄物処理システムの災害レジリエンス評価ツール」のなかでは、処理困難な災害廃棄物「質」「量」発生の抑制を重要視しているが、災害廃棄物の担当課が所管する政策による対策は限られていることから、「発災後に住宅から出るごみを減らす」を一つの評価項目として設定するに留めている[31]。

平山らは、長期的視野に立脚した施設耐震化や部局間連携による災害廃棄物「量」削減などの施策がほとんど検討されていないことから、阪神淡路大震災と熊本地震との比較にもとづき、木造住宅の建て替えによる災害廃棄物「量」の削減効果を明らかにするとともに、災害廃棄物「量」の3R(Reduce×Reuse×Recycle)の推進に向けた施策について考察している[32]。

梶らは、宮城県仙台市を研究対象地域として、東日本大震災時の建物由来災害廃棄物「量」を推計したうえで、建物由来災害廃棄物「量」を削減するためには、推計モデルの各パラメータの値を小さくすること、つまり、より強い建物ストックづくりを目指す必要があると指摘している[33]。

先行研究のレビューから、発展途上の研究領域であることが垣間見える。

2-2. 本研究のアプローチ

本研究のアプローチは「文献調査」、「定量分析」、「定性分析」の三部構成である。

「文献調査」の部では、第一に、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」推計や地域に即した削減施策のあり方に関する先行研究をレビューし、本研究のアプローチ

チを明確にした。第二に、ケーススタディの研究対象地域を設定したうえで、研究対象地域の沿岸特性を整理し、土地利用からみた建物由来津波災害廃棄物の特徴を探る。第三に、東日本大震災後における津波対策のあり方を整理し、研究対象地域における津波対策の方針も探る。

「定量分析」の部では、第一に、津波発生の「いつ」「どれくらい」という変数を動かしたときに、考慮すべき建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の不確実要因を検討する。第二に、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物の推計モデルとそれに伴うパラメータを設定し、必要なデータの収集と整備を図る。第三に、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の推計および複数の推計結果を比較し、「ずれ」の大小とその要因を分析する。

「定性分析」の部では、第一に、「定量分析」の結果を研究対象地域の県庁へフィードバックするとともに、発災前における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」や発災後における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」とどのように対峙していくのか、また、津波対策と災害廃棄物対策を一緒に考えていくための障壁についてもヒアリングを実施する。第二に、津波発生の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物の推計モデルの高度化に向けた課題を整理し、萌芽しつつある最新研究の報告も踏まえた解決策を提案する。第三に、いくつかある建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減施策の比較検討を通じて、地域に即した削減施策のあり方を提言する。

2-3. 研究対象地域

2-3-1. 静岡県遠州七市における土地利用からみた建物由来津波災害廃棄物の特徴

ケーススタディの対象地域には、「南海トラフ地震防災対策推進地域」にも指定されている静岡県遠州七市を設定した[34]。本研究における遠州七市とは、三遠南信地域連携ビジョン推進会議(SENA: San-En-Nanshin-Area-Relationship-Vision Progressive Conference)に参加している構成団体に遠州地域に区分されており、海に接している静岡県西部の浜松市、磐田市、掛川市、袋井市、湖西市、御前崎市、牧之原市の七市を指す。

天竜川河口を頂点として東西に緩やかに弧を描き、広大な低平地を有する遠州七市では 130 万人が暮らししており、沿岸部には建物用地、農業用地、工業用地が広がる。経済センサスー活動調査の実施年を除き、経済産業省が毎年実施している最新の工業統計調査によると、製造品出荷額は、浜松市が 2 兆 0058 億円、磐田市が 1 兆 7870 億円、掛川市が 1 兆 0674 億円、袋井市が 5175 億円、湖西市が 1 兆 7504 億円、御前崎市が 1082 億円、牧之原市が 7045 億円であり、統計データからも、遠州七市が工業地域であることが分かる。かつて浜松藩が奨励した綿花栽培を起源とする織物機械産業の発達により、自動車などの輸送機械をはじめとした先端機械産業の一大工業地帯が形成されてきた[35]。

遠州灘沿岸域はほぼ全域が国定公園や県立自然公園に指定されており、特徴ある自然地形と希少な動植物が残されており、アカウミガメの繁殖の場としても全国有数である。また、遠州灘は波が荒く、海流も速いため、遊泳が禁止されており、海水浴場としては利用されていないが、釣りやサーフィンなどの海洋性レクリエーションの場として、地域内外の人々に親しまれている。

砂浜や砂丘の背後には、一線堤、二線堤、三線堤と帯状に海岸堤防などの海岸保全施設やクロマツを中心とした海岸防災林が営々と築きあげられてきているものの、多くの人口や資産、主要な交通が集中している遠州灘沿岸域では、広範囲にわたる甚大な津波被害が想定されている[36]。東日本大震災を契機として、中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループは最大津波浸水深を見直しており、浜松市は 7 メートルから 16 メートルに、磐田市は 6 メートルから 12 メートルに、掛川市は 6 メートルから

14メートルに、袋井市は5メートルから10メートルに、湖西市は7メートルから16メートルに、御前崎市は8メートルから19メートルに、牧之原市は9メートルから14メートルに変更されている[37].

浜松市、磐田市、湖西市、牧之原市の四市では、津波浸水域内に人口集中地区があるため、津波による甚大な人的被害が予想される。また、遠州七市における津波浸水域内最大建物数は、全建物数の9.8パーセントに相当する7.8万棟であり、取り分け、浜松市、磐田市、湖西市、御前崎市、牧之原市の五市では、津波浸水域内建物割合が最大5パーセント以上であることから、莫大な量の建物由来津波災害廃棄物の発生が危惧される。

2-3-2. 東日本大震災後における津波対策のあり方

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、東北地方太平洋沿岸域を中心に甚大な津波被害をもたらし、震災以前のハードウェアに依存した津波対策を省みることによって、耐津波のあり方も変容してきた。数十年から百数十年に一度の高頻度で発生しうるレベル1津波に対しては、海岸保全施設により人命と財産を保護し、数百年から千年に一度の低頻度で発生しうる最大級のレベル2津波に対しては、海岸保全施設とソフトウェアを総合化させた多重防御により減災を狙う[38][39].

以上の方針にもとづき、津波被災地では、海岸保全施設の復旧や復興事業が進められてきたが、半ば強引に、海岸保全施設の整備が図られてきたこともあり、未だ合意形成に至らぬ事例も少なくない。ちなみに、海岸保全施設の「復旧」とは、災害復旧事業により実施される工事のことを、海岸保全施設の「復興」とは、社会資本整備総合交付金や農村漁村地域整備交付金により実施される工事のことを指す[40].

海岸を防護するとともに、「海岸環境の整備と保全」及び「公衆の海岸の適正な利用」を勘案する必要性が海岸法第一条に明文化されているものの、海岸保全施設の整備をめぐる防護、環境、利用の鼎立は解消されておらず、一部住民から反対運動が行われている(補注(5)参照)。一例として、宮城県気仙沼市の小泉地区における防潮堤事業を概観する。

気仙沼市では、国、宮城県、気仙沼市それぞれの海岸管理者が分担しながら、88地区海岸108箇所の防潮堤の復旧や復興事業が進められており、2017年10月時点で、工事完了が19箇所、工事施工中が56箇所、発注準備中が12箇所、測量や概略詳細設計中が13箇所、事業調整中が6箇所、事業廃止が2箇所である[41]. 環境省の快水浴場百選に選定されている小泉海水浴場がある小泉海岸(中島海岸)では、県内随一の天端高を誇る海拔14.7メートルの防潮堤工事が現在進行中である。一部住民が合意形成のあり方に疑問を呈し、国や県への要望や署名活動など反対運動が行われたこともあり、国内外の注目を集めている[42].

2012年12月に、宮城県気仙沼市の防潮堤を勉強する会発起人会と小泉地区の明日を考える会が実施したアンケート「小泉海岸の防潮堤建設についての意向調査(回答者数は186名、2012年12月31日時点で小泉地区は535世帯、1606人)」をみると、防潮堤の必要性を問う質問では、「必要」と回答した人が134名であり、全体の7割以上を占めているのに反して、防潮堤建設計画の印象を問う質問では、「悪い」「とても悪い」「未回答」で半数以上を占めており、自由回答では、小泉海岸の環境と利用に対する要望や苦情も散見される。また、小泉地区の防潮堤事業は208億円の負の費用対効果になるという東京大学公共政策大学院の報告もある[43].

一律性を至上目的とする国の制度の中では、沿岸域の意向をうかがえたとしても、実現は困難を極める[44]. 取り分け、国費が投入される海岸保全施設の復旧や復興事業では、地域によらず公平であることが大前提であり、予算を組める時間の制約も重なり、事業調整の難に拍車をかけたと考えられる[45]. 防護、環境、利用の理念が先行していることから、海岸保全施設の復旧や復興事業の問題を整理し、上位の管理体制や技術基準の見直しに結びつけなければならない[46].

2-3-3. 静岡県遠州七市における津波対策の方針

静岡県では、人命と財産を保護するために、レベル 1 津波を防御できる高さまで、海岸保全施設の嵩上げが実施されており、施設の耐震化や粘り強い構造への改良も進められている[47]。また、津波の到達時間も短く、多くの人口や資産、主要な交通が集中している低平地では、広範囲にわたる甚大な津波被害が想定されるという課題を解決するために、レベル 1 を超える津波も含めて、できる限り被害を軽減することを目指した津波対策「静岡方式」が推進されている[48]。「静岡方式」は地域の文化、歴史、風土、暮らしに根ざしたうえで、自然との共生や環境との調和を目指し、住民の意見も反映しつつ、国、県、市町の協働のもとで推進しなければならないとされている。静岡県は沿岸を遠州灘沿岸、駿河湾沿岸、伊豆半島沿岸の三つに大別しており、例えば、漁業と観光業を主要な生業とし、海の恵みで生計を立てている伊豆半島沿岸では、50 地区にゾーニングされており、それぞれに設置された地区協議会で話し合いを進めながら、オーダーメイドの津波対策を検討中である。

「静岡方式」の具体例でもあるが、レベル 2 津波を見据えて、住民との合意形成に至った地域では、既存の海岸防災林の嵩上げなどで安全度の向上を図る「静岡モデル(2 階建ての整備)」による海岸保全施設の整備が推進されている。実際に、浜松市沿岸域では、地元創業の住宅メーカーである一条工務店グループからの寄付金 300 億円と浜松商工会議所からの寄付金 15 億円を原資として、浜名湖今切口東岸から天竜川西岸までの 17.5 キロメートルにわたり、海岸防災林の嵩上げやレベル 1 津波高を上回る 13 メートルの防潮堤(「土堤+CSG (Cemented Sand and Gravel)」構造)が整備されつつある[49]。静岡県浜松土木事務所によると、2017 年 11 月現在、9 割の防潮堤で工事が開始されており、そのうち 5 割の防潮堤が完成している。全ての防潮堤が完成するのは、2020 年 3 月を予定している。

3. 建物由来津波災害廃棄物の推計方法と推計結果

3-1. 考慮すべき建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減施策の検討

災害廃棄物の発生自体を災害リスクの一種と捉えれば、そのリスクは「ハザード (Hazard)」、「暴露 (Exposure)」、「脆弱性 (Vulnerability)」の三つにより決定されると考えられる。一般に、ハザードを直接コントロールすることは難しいので、災害リスクを軽減するためには「暴露の回避」や「脆弱性の低下」が必要となる[50]。「暴露の回避」と「脆弱性の低下」を念頭に置きつつ、「先行研究のレビュー」の項でも少し触れたが、災害廃棄物の担当課による建物由来津波災害廃棄物発生抑制策を新規導入することは難があるため、津波対策の副次効果として、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減を期待するという前提のもと、The United Nations Office for Disaster Risk Reduction の報告書を参考にしながら、津波対策と建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減パターンを次のように整理し、まず五つの具体的な津波対策を取り上げた[51]。「暴露の回避」という観点から取り上げた津波対策は、津波浸水深そのものを減少させられる「海岸保全施設の整備」、津波浸水域内建物のインプットとアウトプットを調整することで、建物の津波浸水深を減少させられる「建物の高台移転」、「空き家(建物)の撤去」、「建物の新築制限」、「脆弱性の低下」という観点から取り上げた津波対策は、木造建物を非木造建物に建て替えなどすることで、津波浸水域内建物を津波に強くさせられる「建物の耐浪化」である(図 1 参照)。

第一の削減施策メニュー、「海岸保全施設の整備」により、大きな建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果を期待できる。「静岡県遠州七市における津波対策の方針」の節でも記したとおり、遠州七市では、「海岸保全施設の整備」が進められているため、これを考慮すべき事項に取り入れた。

第二の削減施策メニュー、「建物の高台移転」により、大きな建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果を

期待できる。「建物の高台移転」も「静岡方式」の具体例として挙げられている。実際、南海トラフ巨大地震により、最大 8.6 メートルの津波が想定されている静岡県沼津市内浦重須地区では、東日本大震災を契機として、「建物の高台移転」が模索されている[52][53]。また、地元創業の自動車メーカーであるスズキ株式会社は、南海トラフ巨大地震による津波リスクの分散化を図るため、国内における二輪車事業の拠点を再編するとともに、浜松市北部の高台にある都田地区工業用地へ集約することで、実験、開発、設計、製造、組立の一気通貫をも可能とし、二輪車事業の効率性向上を狙う[54]。しかし、遠州七市では、大規模な「建物の高台移転」が進められていないため、これを考慮すべき事項に取り入れなかった。

第三の削減施策メニュー、「空き家の撤去」により、わずかな建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果を期待できる。国土交通省の非公開データによると、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災 27 市町村では、居住者なし専用住宅の全壊棟数は 3 万棟を超えている。震災前に「空き家の撤去」が行き届いていた場合、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を削減できていたに違いない。ゆえに、「空き家の撤去」を考慮すべき事項に取り入れた。

第四の削減施策メニュー、「建物の新築制限」により、わずかな建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果を期待できる。東日本大震災を契機として施行された、人命や財産の保護を図るための津波防災地域づくりに関する法律にもとづき、津波災害警戒区域(イエローゾーン)および津波災害特別警戒区域(オレンジゾーンとレッドゾーン)を指定できる[55][56]。「オレンジゾーン」とは、「イエローゾーン」のうち津波の危険がある区域として、学校、医療施設、社会福祉施設の建築や開発行為を規制するために、都道府県知事が指定するゾーンのことをいう。「レッドゾーン」とは、「オレンジゾーン」のうち特に津波の危険がある区域として、住宅などの建築や開発行為を規制するために、市町村が条例で指定するゾーンのことをいう。しかし、遠州七市では、「オレンジゾーン」や「レッドゾーン」の指定による「建物の新築制限」が進められていないため、これを考慮すべき事項に取り入れなかった。

第五の削減施策メニュー、「建物の耐浪化」により、わずかな建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果を期待できる。国土交通省中部地方整備局は、建物の RC 化による耐浪化の促進を津波災害に強いまちづくりの施策メニューとして示している[57]。しかし、遠州七市では、大規模な「建物の耐浪化」が進められていないため、これを考慮すべき事項に取り入れなかった。

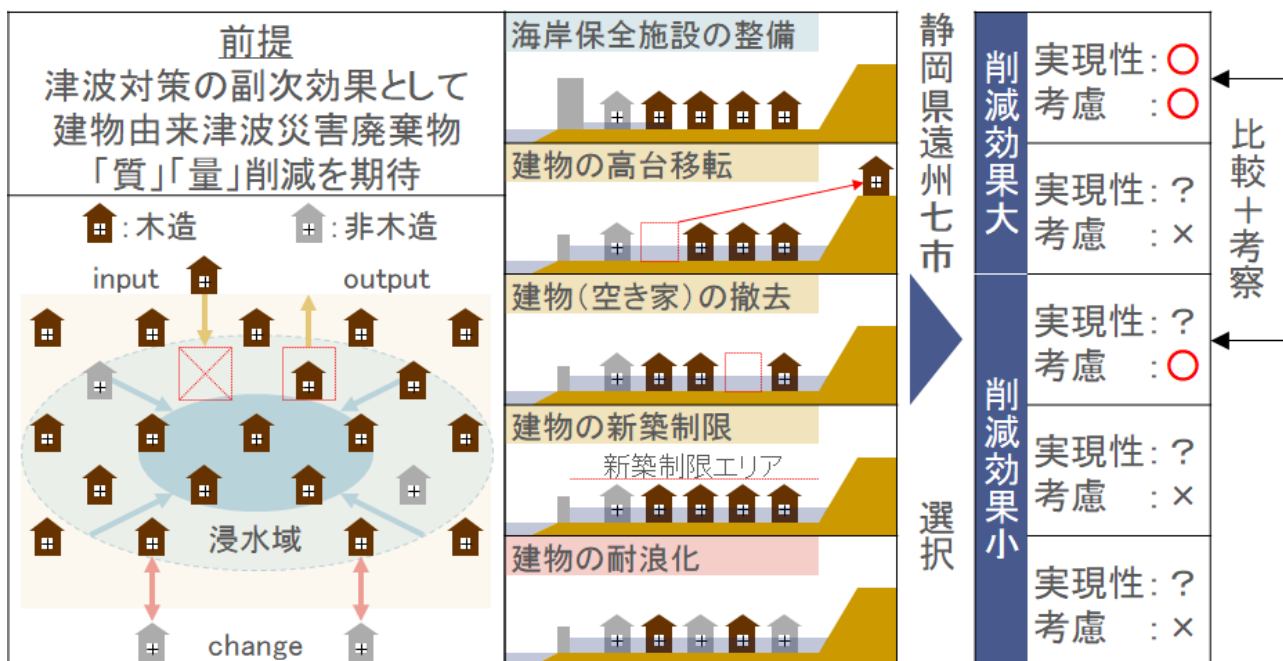


図 1 津波対策と建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減パターン

3-2. 建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」推計フロー

まず、米国 Esri 社の地理情報システム(GIS:Geographic Information System)ソフトウェアである ArcGIS を使用して、オーバーレイにより、津波浸水域内の建物を抽出した(図 2 参照)。

建築士は一級建築士、二級建築士、木造建築士に分けられており、建築士法第三条の二、第三条の三から、木造建築士は3階未満かつ延床面積が300平方メートル以下と、小規模な木造建築物のみ設計および工事監理が許可されている(補注(6)参照、補注(7)参照)。そこで、3階未満かつ延床面積(=建築面積×階数)が300平方メートル以下の建物を木造、3階以上あるいは延床面積が300平方メートルを超える建物を非木造と仮定し、津波浸水域内の各建物に構造判定を実施した。

次に、東日本大震災時のデータをもとに構築した建物津波被害関数から求めた津波浸水深1メートルごとの構造別全壊および半壊確率を津波浸水域内の各建物に割り当てた。最後に、津波浸水域内の各建物の延床面積に構造別被災区分別の建物津波被災確率、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位、建設資材投入割合、津波災害廃棄物処理単価を乗じ、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を算出した。

すなわち、建物由来津波災害廃棄物「量」推計方法は式(1)で、建物由来津波災害廃棄物「質」推計方法は式(2)で、建物由来津波災害廃棄物「処理費用」推計方法は式(3)で記述できる。

$$D = \sum B_i F_i (PC_i GC_i + PH_i GH_i) \quad (1)$$

$$DM = \sum B_i F_i (PC_i GC_i M_i + PH_i GH_i M_i) \quad (2)$$

$$TC = DC \quad (3)$$

ここで、 D は建物由来津波災害廃棄物「量」を、 DM は建物由来津波災害廃棄物「質」を、 B_i は各建物の建築面積を、 F_i は各建物の階数を、 PC_i は各建物の全壊確率を、 PH_i は各建物の半壊確率を、 GC_i は各建物の全壊の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位を、 GH_i は各建物の半壊の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位を、 M_i は各建物の建設資材投入割合を、 TC は建物由来津波災害廃棄物「処理費用」を、 C は建物由来津波災害廃棄物処理単価を表す。



図 2 本研究における建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」推計フロー

3-3. 使用データ

「津波断層モデル」の節でも記したとおり、津波断層モデルを建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の不確実要因として考慮しているため、複数ケースの津波浸水深データを用意しなければならない。

海岸保全施設整備前の津波浸水深データに関しては、南海トラフの巨大地震モデル検討会が作成した津波断層モデル 11 ケース分×海岸堤防破壊 2 パターン分(津波越流時堤防破壊パターンと地震発生 3 分後堤防破壊パターン)の陸域における津波浸水深 CSV データを収集し、10メートルメッシュの GIS データに加工した。尚、ケース 1 は「駿河湾から紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり域」が設定、ケース 2 は「紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり域」が設定、ケース 3 は「紀伊半島沖から四国沖」に「大すべり域+超大すべり域」が設定、ケース 4 は「四国沖」に「大すべり域+超大すべり域」が設定、ケース 5 は「四国沖から九州沖」に「大すべり域+超大すべり域」が設定、ケース 6 は「駿河湾から紀伊半島沖」に「大すべり域+分岐断層も考慮した超大すべり域」が設定、ケース 7 は「紀伊半島沖」に「大すべり域+分岐断層も考慮した超大すべり域」が設定、ケース 8 は「駿河湾から愛知県東部沖」と「三重県南部沖から徳島県沖」に「大すべり域+超大すべり域」が二箇所設定、ケース 9 は「愛知県沖から三重県沖」と「室戸岬沖」に「大すべり域+超大すべり域」が二箇所設定、ケース 10 は「三重県南部沖から徳島県沖」と「足摺岬沖」に「大すべり域+超大すべり域」が二箇所設定、ケース 11 は「室戸岬沖」と「日向灘」に「大すべり域+超大すべり域」が二箇所設定されており、津波断層モデルなどについての詳細な説明は、南海トラフの巨大地震モデル検討会が作成した資料に委ねる[58]。ただし、数値計算されていない津波断層モデル 27 ケース分の津波浸水深データがあるため、使用する海岸保全施設整備前の津波浸水深データにより全容を把握できないことに留意する[59]。

海岸保全施設整備後の津波浸水深データに関しては、静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課が作成したレベル 1 津波対策施設整備後の 10メートルメッシュの津波浸水深 GIS データをご提供いただいた。この GIS データでは、全ての海岸保全施設はレベル 1 津波を越流させない高さまで整備が完了し、レベル 1 の地震や津波が発生しても、海岸保全施設の高さや構造は維持され、レベル 2 の地震や津波が発生しても、粘り強く効果を発揮することで、海岸保全施設の高さや構造は維持されると仮定している[60]。尚、上記の仮定条件は、実際の地震や津波に対して、整備している海岸保全施設の高さや構造が維持されることを保証するものではないことに留意する。

建物データに関しては、東京大学空間情報科学研究センター(CSIS:Center for Spatial Information Science)との共同研究「南海トラフ巨大地震による東海地方における津波廃棄物発生量の推計と仮置き場の候補地の選定に関する研究(研究代表者:巖網林(慶應義塾大学), 研究番号:683)」の一環で、株式会社ゼンリンが作成した住宅地図データベース Zmap-TOWN II の建物 GIS データを収集した。この建物 GIS データでは、2階以下の建物であるとき、階数が属性情報に付与されていないこともあるため、一律 2 階と補正し、さらに、ジオメトリ演算により建築面積も算出した。

空き家データに関しては、株式会社ゼンリンが作成した住宅地図データベース Zmap-TOWN II の建物 GIS データや静岡県が作成した都市計画基礎調査の建物 GIS データには空き家判定の属性情報が付与されていないため、総務省統計局が実施した最新の住宅・土地統計調査の空き家統計データを利用した。

東日本大震災時の津波被災建物データに関しては、行政機関や研究機関限定に公開している、国土交通省都市局復興支援調査アーカイブの津波浸水深と被災区分が属性情報に付与されている建物 GIS データを収集した。

以上の主要な収集データをもとに、データベースを構築した。

3-4. パラメータの設定

3-4-1. 静岡県遠州七市における住宅構造

総務省統計局が実施した最新の住宅・土地統計調査によると、遠州七市の住宅構造は W 造が 65.6 パーセント、S 造が 11.8 パーセント、RC 造が 22.5 パーセント、その他が 0.1 パーセントであり、W 造、S 造、RC 造の合計で 99.9 パーセントを占めることから、非木造の建物津波被災確率、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位、建設資材投入割合は S 造と RC 造のみ反映した。W 造割合をみると、浜松市で 61.7 パーセントを、磐田市で 74.1 パーセントを、掛川市で 71.6 パーセントを、袋井市で 64.4 パーセントを、湖西市で 72.2 パーセントを、御前崎市で 81.0 パーセントを、牧之原市で 77.5 パーセントを占めているなど、住宅構造の地域差を確認できることから、構造別の建物津波被災確率、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位、建設資材投入割合を設定することは意義深い。

3-4-2. 建物津波被災確率

一般に、津波被害を推計するためには、対象地域における津波外力を設定したうえで、津波外力との関連で求める。津波外力の大きさと建物被災の関係について、最初に定量的な調査を実施したのは羽鳥であり、1896 年明治三陸地震津波、1933 年昭和三陸地震津波、1960 年チリ地震津波の三事例の資料分析を通じて、集落における津波浸水深と建物破壊率の関係を整理している[61]。その後、首藤は津波被害実績にもとづき、津波外力と被害程度の間を津波強度指標として表現しており、かつて中央防災会議は首藤の津波強度指標を採用し、津波浸水深が 2 メートル以上は一律全壊、1 メートル以上かつ 2 メートル未満は一律半壊と設定することで、建物津波被災棟数を算出していた[62]。

従来の津波被害予測式では、閾値を超えた場合、一律の被害評価とならざるをえず、確率的な評価を実施する場合は適用に限界があり、津波被害想定の高高度化に必要な新しい指標として、津波被害関数の構築が求められている[63]。津波被害関数とは、津波による人命や財産の被害程度を被害率として確率で表現し、津波浸水深や流速などの津波外力の関数として記述されたものであり、津波脆弱性関数や津波脆弱性カーブとも呼ばれている。

例えば、越村らは、宮城県における東日本大震災の津波被災 9 市町を研究対象地域として、震災前後の航空写真、建物データ、津波浸水域データ、津波浸水深データを GIS に統合させることで、建物津波被害関数を構築している[64]。同様にして、多くの建物津波被害関数が構築されてきたものの、津波浸水深 1 メートルごとの構造別全壊および半壊確率など、詳細は非公開であるため、新しく独自の建物津波被害関数を構築した。

一般に、建物津波被害関数構築の手順は、以下の四段階を踏んでゆく。第一に、歴史資料の分析、現地調査、数値解析により、津波外力を設定する。第二に、歴史資料の分析、現地調査、被災前後の衛星画像や航空写真の判読から、建物一棟ごとの被災区分情報を取得し、建物群の被害率も算出する。第三に、必要に応じて、GIS の空間分析機能を利用しながら、津波外力と建物被害率を関連づける。第四に、津波外力 x に対する建物被害率 $P_D(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数を用い、正規分布あるいは対数正規分布で表現できると仮定して、回帰分析を実施することで、建物津波被害関数を求める。

本研究で使用した国土交通省都市局復興支援調査アーカイブの東日本大震災時の津波被災建物 GIS データには、5 メートルメッシュ単位の津波浸水深と被災区分が属性情報に付与されているため、第一段階と第二段階を飛ばし、青森県、岩手県、宮城県、福島県の津波被災 34 市町村における 198,107 棟分の対象データを

利用して、式(4)に回帰させることで、建物津波被害関数を同定した(図3参照)。

$$P_D(x) = \Phi\left[\frac{x - \mu}{\sigma}\right]$$

$$= \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dt \quad (4)$$

ここで、 x は津波浸水深を、 μ は x の平均値を、 σ は x の標準誤差を表す。正規確率紙上において、横軸は Φ の逆関数 Φ^{-1} 、縦軸は津波浸水深でプロットし、最小二乗法により回帰直線を求めると、その傾きが σ 、切片が μ となる[65]。

算出された建物津波被害関数の正規分布モデルのパラメータを示した。また、設定した建物津波被災確率も示した。尚、全壊率と全半壊率の差分をとることで、半壊率を求めた。

補足ながら、津波波圧算定式は式(5)で、津波波力算定式は式(6)で記述できるように、建物にかかる津波波圧や津波波力は津波浸水深以外の要因にも影響される[66]。

$$qz = \rho g(ah - z) \quad (5)$$

$$Qz = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z)Bdz \quad (6)$$

ここで、 qz は構造設計用の進行方向の津波波圧を、 Qz は構造設計用の進行方向の津波波力を、 ρ は水の単位体積質量を、 g は重力加速度を、 a は水深係数を、 h は設計用津波浸水深を、 z は当該部分の地盤面からの高さを、 z_1 は受圧面の最小高さを、 z_2 は受圧面の最高高さを、 B は当該部分の受圧面の幅を表す。

東日本大震災の津波被災調査結果にもとづき、設計用津波浸水深の三倍(水深係数が3)に相当する静水圧を津波波圧と算定するのを基本としながらも、津波が来襲する方向に建物などの遮蔽物がある場合は水深係数を3から2まで、さらに、海岸や河川から500メートル以上離れている場合は水深係数を2から1.5まで低減できるとしており、津波被災を軽減する効果が見込まれている。そこで、海岸や河川から500メートル内外の建物津波被災確率をそれぞれ比較したところ、顕著な差を確認できなかったため、これを考慮すべき事項に取り入れなかった。

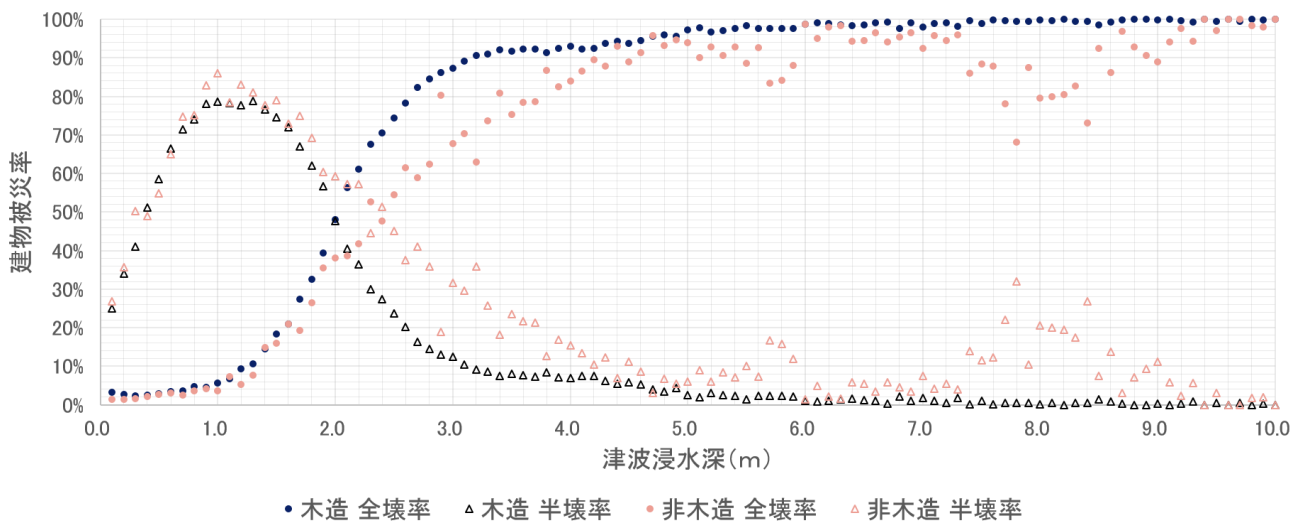


図3 東日本大震災における津波浸水深と建物被災率

3-4-3. 建物由来津波災害廃棄物発生量原単位

建物由来災害廃棄物発生量原単位に関する先行研究をレビューしたところ、例えば、阪神淡路大震災における建物倒壊に伴う解体廃棄物の単位延床面積あたりの原単位を算出しているなど、現地調査結果の実績値にもとづき設定されている[67][68].

環境省の最新の技術資料をみると、全壊は 117(トン/棟)、半壊は 23(トン/棟)、床上浸水は 4.6(トン/世帯)、床下浸水は 0.62(トン/世帯)に設定されており、一棟あるいは一世帯あたりの災害廃棄物発生量原単位(トン/棟あるいはトン/世帯)を用いて、南海トラフ巨大地震による災害廃棄物「量」が推計されている[69]. 仮に、単位延床面積あたりの建物由来津波災害廃棄物発生量原単位(トン/平方メートル)であれば、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」をマルチスケールで集計可能となる.

中央防災会議東海地震対策専門調査会と中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会の過去の技術資料をみると、木造は 0.60(トン/平方メートル)、非木造は 1.00(トン/平方メートル)に設定されている[70][71]. また、構造設計者へのヒアリングを実施したところ、実務指南書を参考として、木造は 0.40(トン/平方メートル)から0.60(トン/平方メートル)、S造は1.00(トン/平方メートル)、RC造は1.20(トン/平方メートル)に設定すべきというご助言をいただいた[72].

そこで、中央防災会議の技術資料、実務指南書、構造設計者へのヒアリングにより、基礎コンクリートを含めた建物由来津波災害廃棄物発生量原単位を、木造で全壊は 0.60(トン/平方メートル)と、木造で半壊は 0.12(トン/平方メートル)と、非木造で全壊は 1.10(トン/平方メートル)と、非木造で半壊は 0.22(トン/平方メートル)と新たに設定した(表 1 参照). 尚、環境省の技術資料にならい、半壊の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位は全壊の 20 パーセントに設定したこと、非木造の建物由来津波災害廃棄物発生量原単位は S 造と RC 造の平均値から算出したことに留意する.

3-4-4. 建設資材投入割合

国土交通省が二年ごとに実施している建設資材・労働力需要実態調査の最新の統計データから引用した単位延床面積あたりの建設資材投入量に、文献調査から求めた単位容積質量(木材は 0.55(トン/立方メートル)、骨材・石材は 1.80(トン/立方メートル)、生コンクリートは 2.33(トン/立方メートル))を乗じて、木造と非木造の建設資材投入割合を算出した(表 2 参照)[73][74][75]. 尚、非木造の建設資材投入割合は S 造と RC 造の平均値から算出したことに留意する.

また、コンクリートがセメント、細骨材(砂)、粗骨材(砂利)、水で構成されていることから、建物由来津波災害廃棄物「質」は木材、コンクリート、鋼材に大別した.

表 1 建物由来津波災害廃棄物発生量原単位

建物構造		建物由来津波災害廃棄物発生量原単位			
		環境省 (2014年資料)	中央防災会議 (2003年資料)	構造設計者に ヒアリング	本研究
木造	W造	全壊 : 117 t/棟	0.60 t/m ²	0.40 - 0.60 t/m ²	全壊 : 0.60 t/m ² 半壊 : 0.12 t/m ²
		半壊 : 23 t/棟			
非木造	S造	床上浸水 : 4.60 t/世帯	1.00 t/m ²	1.00 t/m ²	全壊 : 1.10 t/m ² 半壊 : 0.22 t/m ²
	RC造	床下浸水 : 0.62 t/世帯			

表 2 質量ベースの建設資材投入割合

建設資材	建設資材投入量(100 m ² あたり)			単位容積 質量	建設資材投入割合		災害廃棄物 「質」
	W 造	S 造	RC 造		木造	非木造	
木材	19.2 m ³	1.1 m ³	3.2 m ³	0.55 t/m ³	7.7 %	0.3 %	木材
セメント	8.3 t	14.7 t	31.0 t	—	6.0 %	6.7 %	コンクリート
骨材・石材	38.7 m ³	65.7 m ³	113.3 m ³	1.80 t/m ³	50.4 %	47.0 %	コンクリート
生コンクリート	20.8 m ³	37.2 m ³	87.8 m ³	2.33 t/m ³	35.1 %	42.5 %	コンクリート
鋼材	1.1 t	13.9 t	10.0 t	—	0.8 %	3.5 %	鋼材

3-4-5. 建物由来津波災害廃棄物処理単価と費用負担

建物由来津波災害廃棄物処理単価が分かれば、式(3)により、建物由来津波災害廃棄物「処理費用」を容易に算出できるものの、処理単価のデータは少ない。

環境省の「災害廃棄物対策情報サイト」において、過去の災害廃棄物等処理単価がいくつか公表されている[76]。それらを見ると、阪神淡路大震災は 2.2(万円/トン)、新潟県中越地震は 3.3(万円/トン)、東日本大震災は 3.7(万円/トン)であり、海水を被った混合廃棄物である津波災害廃棄物の処理単価は高くなることを踏まえて、建物由来津波災害廃棄物処理単価を 3.7(万円/トン)に設定した。

通例、廃棄物の処理及び清掃に関する法律第二十二条にもとづき、災害等廃棄物処理事業費国庫補助対象事業費を X 円、国庫補助対象外事業費を Y 円とすると、災害等廃棄物処理事業費国庫補助金 X/2 円および総務省の特別地方交付税 $aX/100$ ($0 \leq a \leq 40$) 円が補助されることから、各被災市町村における災害廃棄物処理費用負担額は $X(50-a)/100+Y$ 円となり、実質的な各被災市町村の負担額は一割強である(図 4 参照)。

甚大な被害を及ぼした東日本大震災では、被災市町村の財政負担を軽減するために、災害等廃棄物処理事業費国庫補助率の嵩上げ、グリーンニューディール基金や震災復興特別交付税を活用し、建物解体費用も国庫補助対象になるなど、特例措置が講じられた[77][78][79]。

そこで、本研究では、通例ケースと特例(東日本大震災)ケースの二ケースを適用し、プレイヤー別の建物由来津波災害廃棄物処理費用負担額も算出する。

補足ながら、空き家(建物)は私有財産であるため、平常時における空き家(建物)の処理は私費(所有者)負担であるが、災害時における被災空き家(建物)の処理は公費(国と被災市町村)負担となり、いわゆる「フリーライド(ただ乗り)」に陥る。

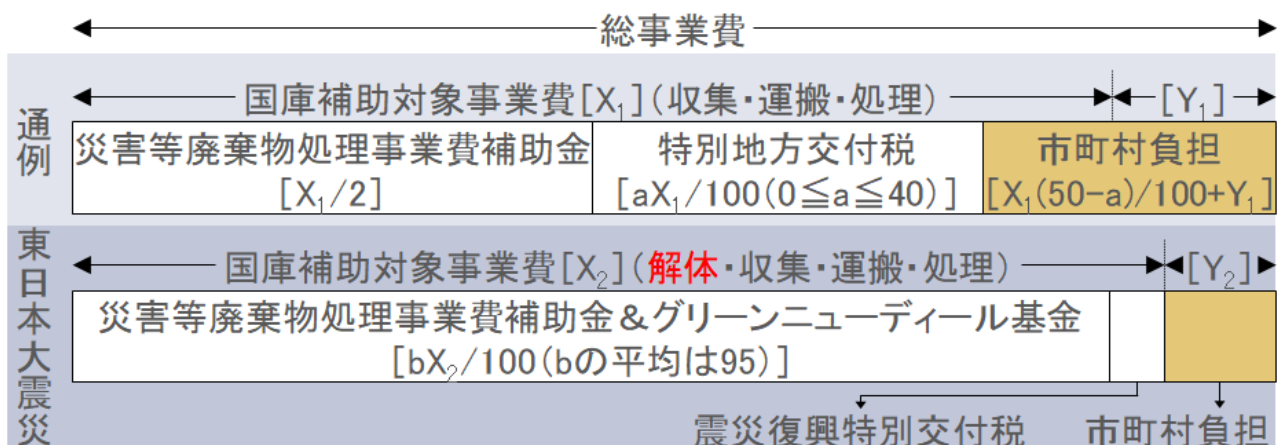


図 4 建物由来津波災害廃棄物処理費用負担

3-5. 建物由来津波災害廃棄物の推計結果

遠州七市における建物由来津波災害廃棄物の推計結果を示した。

津波断層モデルがケース 1, 地震発生 3 分後に堤防が破壊するパターンのとき, 建物由来津波災害廃棄物「量」は最大値をとり, 木材が 227,889 トン, コンクリートが 9,406,476 トン, 鋼材が 274,508 トン, 合計が 9,908,873 トン, 処理費用が 366,628,301,297 円, 遠州七市各市が負担する最大の処理費用合計額が 36,662,830,130 円である(図 5 参照). また, 津波断層モデルがケース 11, 津波越流時に堤防が破壊するパターンのとき, 建物由来津波災害廃棄物「量」は最小値をとり, 木材が 7,463 トン, コンクリートが 308,671 トン, 鋼材が 9,013 トン, 合計が 325,148 トン, 処理費用が 12,030,457,650 円である. したがって, 建物由来津波災害廃棄物「量」が最大値をとるときと最小値をとるときの「ずれ(=最大値-最小値, 最大値/最小値)」は, 木材が 220,426 トンで 30.5 倍, コンクリートが 9,097,805 トンで 30.5 倍, 鋼材が 265,495 トンで 30.5 倍, 合計が 9,583,726 トンで 30.5 倍, 処理費用が 354,597,843,647 円である.

さらに, 遠州七市各市の災害廃棄物処理の対応力をみる指標として, 建物由来津波災害廃棄物「量」を一年間の一般廃棄物排出量で除した災害廃棄物量相対値も算出した. 尚, 環境省が実施した最新の一般廃棄物処理実態調査によると, 一年間の一般廃棄物排出量は, 浜松市が 263,241 トン, 磐田市が 47,302 トン, 掛川市が 28,297 トン, 袋井市が 28,136 トン, 湖西市が 20,765 トン, 御前崎市が 11,894 トン, 牧之原市が 14,433 トンであり, このデータを利用した. 遠州七市各市における災害廃棄物量相対値の推計結果を示した.

災害廃棄物量相対値の最大値は, 浜松市が 17.8 年, 磐田市が 19.8 年, 掛川市が 10.7 年, 袋井市が 1.2 年, 湖西市が 46.6 年, 御前崎市が 87.4 年, 牧之原市が 137.7 年である. また, 災害廃棄物量相対値の最小値は, 浜松市が 0.1 年, 磐田市が 0.1 年, 掛川市が 0 年, 袋井市が 0.0 年, 湖西市が 0.3 年, 御前崎市が 9.4 年, 牧之原市が 11.6 年である. 平山らは, 災害廃棄物量相対値が 0.5 年以上になる場合, 市町村独自での対応は難があると指摘している[80]. ゆえに, 建物由来津波災害廃棄物「量」が最大値とならない場合においても, 災害廃棄物処理を取り巻く環境は厳しいことが推察され, 取り分け, 御前崎市と牧之原市においては, どのような「津波断層モデルのケース×堤防破壊のパターン」であろうとも, 市独自での対応は難があるため, 国, 県, 他市町村とのさらなる連携を強く推奨する.

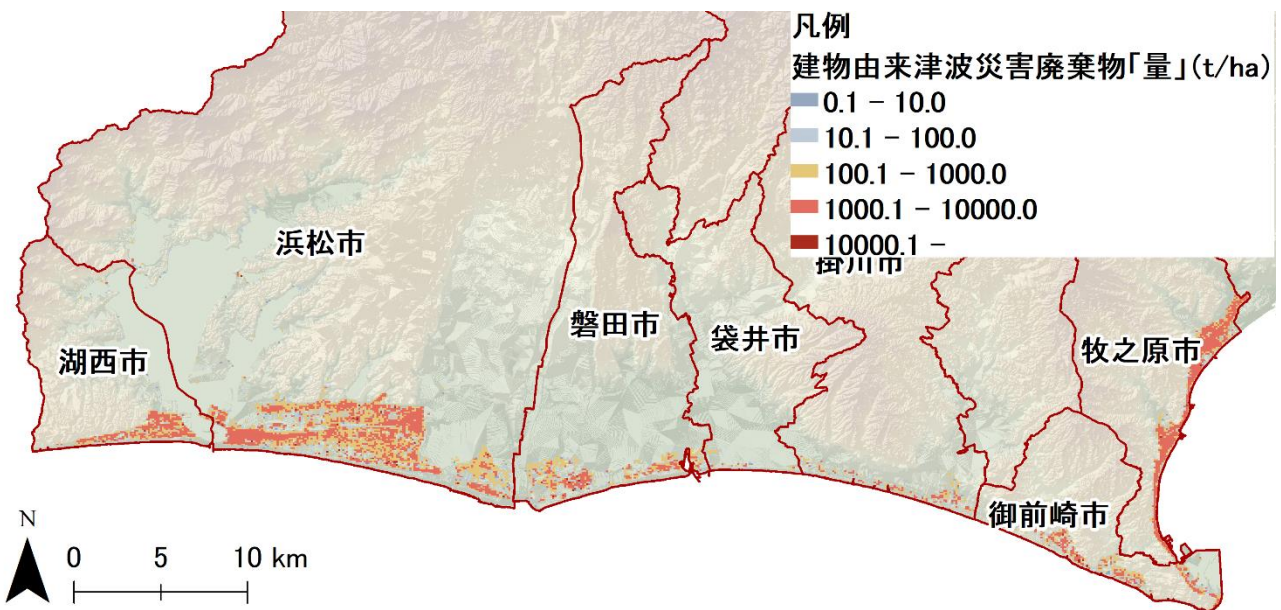


図 5 遠州七市における最大の建物由来津波災害廃棄物「量」分布マップ

3-6. 静岡県庁へのフィードバックとヒアリング

2017年11月27日に静岡県庁へ赴き、「定量分析」の結果を海岸保全施設の整備を担当している交通基盤部河川企画課と災害廃棄物の処理を担当しているくらし・環境部廃棄物リサイクル課へフィードバックするとともに、発災前における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」や発災後における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」とどのように対峙していくのか、また、津波対策と災害廃棄物対策を一緒に考えていくための障壁についてもヒアリングを実施した。また、2017年11月18日に、浜松市防潮堤資料室で開催された防潮堤見学会に参加しつつ、浜松土木事務所にもヒアリングを実施した。

以下のように、河川企画課と廃棄物リサイクル課へ七つの質問をした。尚、質問の回答は次章に含めて記す。質問1から質問6までは発災前における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」とその対応についての質問、質問7は発災後における災害廃棄物「質」「量」推計結果の「ずれ」とその対応についての質問である。

質問1:地震の揺れによる倒壊後に津波で流出した場合、津波による災害廃棄物「質」「量」ではなく、地震による災害廃棄物「質」「量」に計上されているため、津波による災害廃棄物「質」「量」は過小推計であると思われる。津波災害廃棄物は海水を被った混合廃棄物であり、例えば、不燃物の分別や除去、ダイオキシン類発生抑制のために除塩が必要となるなど、処理行程が複雑となることから、津波災害廃棄物「質」「量」の過小推計により、事前想定処理フローと実際の処理フローは大きく乖離すると考えられます。廃棄物リサイクル課はどのようにお考えですか。

質問2:海岸保全施設(レベル1津波対策施設)の整備後に災害廃棄物「質」「量」を再推計するためには、海岸保全施設の整備を担当している河川企画課と災害廃棄物の処理を担当している廃棄物リサイクル課の連携が鍵になると考えております。今後、連携していくうえでの障壁を教えてください。

質問3:県から要請があれば、海岸保全施設の整備後に災害廃棄物「質」「量」を再推計するかもしれないと、浜松市からご回答いただいているように、県と市町の連携も鍵になると考えております。今後、連携していくうえでの障壁を教えてください。

質問4:静岡県災害廃棄物処理計画には、地域防災計画や被害想定が見直されたときに改善されていく旨が記載されております。海岸保全施設の整備により、津波災害廃棄物「質」「量」の大きな削減効果が期待できそうですが、整備後に県災害廃棄物処理計画を改善していく予定はございますか。

質問5:海岸保全施設の整備前後では、津波災害廃棄物「質」「量」の分布が異なるため、災害廃棄物の解体、収集、運搬、処理という後段のプロセスへの影響が懸念されます。廃棄物リサイクル課が考える懸念事項を教えてください。

質問6:海岸保全施設の整備による建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果が大きいということは、建物津波被災棟数の削減効果も大きく、人命や財産の保護効果も大きいことが示唆されます。そこで、海岸保全施設の整備による建物由来津波災害廃棄物「質」「量」削減効果が大きな地域では、工期を早めていくことも選択肢となりうると考えておりますが、障壁を教えてください。

質問7:県災害廃棄物処理計画には、発災後、トラックスケールでの重量管理や建物解体予定棟数をもとに、災害廃棄物「質」「量」を推計していく旨が記載されております。熊本地震では、罹災証明書には期限がないこと、一部損壊と半壊の補助金額が異なるため、一部損壊から半壊への格上げを狙う被災者もいたことから、罹災証明書が発災からしばらくした後に増加し、災害廃棄物「質」「量」の推計値も増加しました。発災前における推計値、発災直後における推計値、発災からしばらくした後における推計値の乖離に伴う災害廃棄物の解体、収集、運搬、処理という後段のプロセスへの影響をどれくらい検討されていますか。

4. 考察

4-1. パラメータの改良による建物由来津波災害廃棄物の高度な推計方法

本節では、パラメータの改良による津波発生「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の高度な推計方法のあり方について考察する。

第一に、建物津波被災確率と建物由来津波災害廃棄物処理単価から考察する。

成田らは、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災 19 湾を研究対象地域として、標高や勾配、湾地形、海岸保全施設整備、建物分布という観点から地域特性を表現し、主成分分析とクラスター分析の併用により、地域特性にもとづく津波被害関数を類型化している[81]。また、岩手県および宮城県における東日本大震災の津波被災 27 市町村を対象地域として、災害廃棄物等量を会計検査院の決算報告から引用した災害廃棄物等処理事業費で除した災害廃棄物等処理単価を算出したところ、気仙沼市が 60,741(円/トン)、利府町が 25,904(円/トン)であり、地域差を確認できた[82]。例えば、全国を研究対象地域として、処理施設種類ごとの災害廃棄物処理単価を利用することで、南海トラフ巨大地震による災害廃棄物処理費用を算出している水谷らのように、地域差を反映できる工夫が求められる[83]。

反して、本研究における建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」推計のなかでは、地域特性にもとづくパラメータについてあまり検討していない。すなわち、「地域特性」にもとづくパラメータに改良することで、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の高度な推計方法につながることを期待される。

第二に、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位から考察する。

尾崎らは、高知県高知市を研究対象地域として、上振れと下振れで不確実性を考慮した建物由来災害廃棄物発生量原単位(トン/平方メートル)を被災建物の延床面積に乗じるなどで、建物由来災害廃棄物「質」「量」を建物レベルで推計している[84]。振れなしの推計結果と比較して、上振れの推計結果は 1.4 倍、下振れの推計結果は 0.9 倍になることから、建物由来災害廃棄物発生量原単位の不確実性も考慮すべきと指摘している。

反して、本研究における建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」推計のなかでは、パラメータそのものの不確実性についてあまり検討していない。すなわち、「幅」のあるパラメータに改良することで、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の高度な推計方法につながることを期待される。

一方で、静岡県と浜松市へのヒアリングから、県や市は発災前における推計値、発災直後における推計値、発災からしばらくした後における推計値の「ずれ」を許容していることが分かったため、推計値の「ずれ」の許容範囲を的確に把握したうえで、津波災害廃棄物「質」「量」の過小推計の改善も含めた建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の高度な推計方法は、地方公共団体でのニーズにも歩み寄りなければならない(質問 1 参照, 質問 7 参照)。

4-2. 海岸保全施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果

遠州七市各市いずれも、地震発生 3 分後堤防破壊パターンと比較して、津波越流時堤防破壊パターンは楽観的シナリオであることがすでに分かっている。そのため、海岸保全施設の耐震化による建物由来津波災害廃棄物の削減効果は、一例として、それぞれの津波断層モデルにおいて、地震発生 3 分後堤防破壊パターンの建物由来津波災害廃棄物の推計結果から津波越流時堤防破壊パターンの建物由来津波災害廃棄物の推計結果を差し引くことで算出できる。遠州七市における海岸保全施設の耐震化による建物由来津波災害廃棄物の削減効果を下表に示す(表 3 参照)。

さらに、「レベル 1 津波対策施設を整備する場合」と「レベル 1 津波対策施設を整備しない場合」の建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を比較することで、レベル 1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果も明らかにした。建物由来津波災害廃棄物「量」が最大値をとる津波断層モデルがケース 1、地震発生 3 分後に堤防が破壊するパターンのときと比較すると、レベル 1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果は、木材が 145,008 トン(63.6 パーセント相当)、コンクリートが 5,522,146 トン(58.7 パーセント相当)、鋼材が 157,324 トン(57.3 パーセント相当)、合計が 5,824,478 トン(58.8 パーセント相当)、処理費用が 215,505,699,532 円(58.8 パーセント相当)である(図 6 参照)。前項までに記した、遠州七市各市におけるレベル 1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果を下表に示すと、その地域差を確認できる(表 4 参照)。廃棄物リサイクル課から、レベル 1 津波対策施設の整備による災害廃棄物の解体、収集、運搬、処理という後段のプロセスへの悪影響は微小であるご回答いただいているものの、遠州七市におけるレベル 1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物「量」削減効果マップをみると、例えば、浜名湖岸の一部では、建物由来津波災害廃棄物「量」の増加を確認できるため、後段のプロセスのうち「どこに」影響を与え、「どのように」改善していくのかを検討すべきであろう(質問 5 参照)。また、御前崎市の一部では、レベル 1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果が小さく、人口が非集中で 2050 年には四分の一以下になり、既存の交通施設もなく、原子力発電所付近のため、「海岸保全施設の整備」ではなく、「建物の高台移転」も津波対策および削減施策の一つの選択肢となりうるのではなかろうか。

補足ながら、レベル 1 津波対策施設の整備により、遠州七市各市における災害廃棄物量相対値の最大値を基準として、浜松市では 17.8 年から 2.9 年に、磐田市では 19.8 年から 12.7 年に、掛川市では 10.7 年から 8.5 年に、袋井市では 1.2 年から 0.4 年に、湖西市では 46.6 年から 37.7 年に、御前崎市では 87.4 年から 52.4 年に、牧之原市では 137.7 年から 74.4 年に減少する。レベル 1 津波対策施設の整備後においても、袋井市を除き、災害廃棄物量相対値が 0.5 年以上となるため、市独自での災害廃棄物処理の対応は難があり、国、県、他市町村との連携に向けた取り組みをないがしろにはならない。

一般に、海岸事業の妥当性を判断するためには、事業の費用対効果を算出しなければならない[86]。浜松市では、建物由来津波災害廃棄物処理費用削減効果と市が公開している産業被害軽減効果 3,169 億円との合算値のみを便益と捉えて、事業費 315 億円と単純比較しても、費用対効果は 14.7 倍に及ぶ[87]。海岸保全施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果と人命や財産の保護効果は表裏一体であるため、浜松市のような費用対効果が高い地域では、工期を早めていかなければならないものの、事業費の工面に課題が残る(質問 6 参照)。

また、海岸保全施設の整備による津波災害廃棄物「質」「量」の大きな削減効果が期待できるため、整備後に県や市町の災害廃棄物処理計画を改善していく必要性そのものは認識されているものの、海岸保全施設の整備を担当している部署と災害廃棄物の処理を担当している部署の横の連携、県と市町の縦の連携はなく、上位計画を担当している部署も含めた対話の場を設けるべきだ(質問 2 参照、質問 3 参照、質問 4 参照)。

表3 遠州七市における海岸保全施設の耐震化による建物由来津波災害廃棄物の削減効果

津波断層 モデル	「質」「量」				「処理費用」
	木材	コンクリート	鋼材	合計	
ケース1	3,739 t	111,624 t	2,905 t	118,267 t	4,375,896,429 円
ケース2	4,170 t	289,807 t	9,430 t	303,407 t	11,226,053,544 円
ケース3	5,473 t	325,567 t	10,324 t	341,365 t	12,630,496,542 円
ケース4	5,407 t	280,510 t	8,660 t	294,577 t	10,899,331,661 円
ケース5	5,779 t	300,914 t	9,297 t	315,989 t	11,691,600,780 円
ケース6	3,836 t	126,523 t	3,429 t	133,789 t	4,950,179,412 円
ケース7	4,463 t	289,158 t	9,306 t	302,927 t	11,208,306,335 円
ケース8	3,956 t	174,796 t	5,196 t	183,948 t	6,806,088,481 円
ケース9	4,521 t	249,233 t	7,791 t	261,545 t	9,677,169,236 円
ケース10	3,948 t	230,199 t	7,273 t	241,420 t	8,932,552,099 円
ケース11	5,261 t	275,098 t	8,507 t	288,866 t	10,688,025,526 円

表4 遠州七市各市におけるレベル1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果

遠州七市	「質」「量」				「処理費用」
	木材	コンクリート	鋼材	合計	
浜松市	99,493 t	3,729,722 t	105,729 t	3,934,944 t	145,592,938,973 円
磐田市	5,955 t	317,768 t	9,868 t	333,591 t	12,342,881,110 円
掛川市	570 t	60,417 t	2,068 t	63,055 t	2,333,047,214 円
袋井市	458 t	22,793 t	697 t	23,948 t	886,068,317 円
湖西市	6,517 t	175,338 t	4,343 t	186,198 t	6,889,340,911 円
御前崎市	5,759 t	397,211 t	12,910 t	415,879 t	15,387,537,139 円
牧之原市	27,497 t	864,013 t	22,975 t	914,485 t	33,835,957,751 円

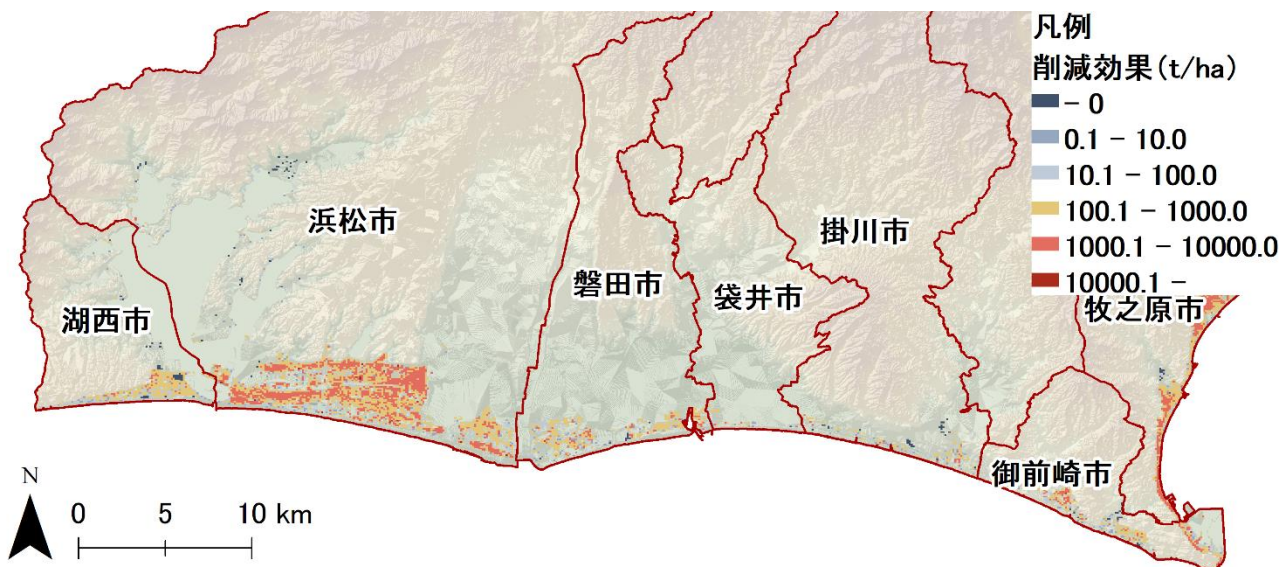


図6 遠州七市におけるレベル1 津波対策施設の整備による建物由来津波災害廃棄物「量」削減効果マップ

4-3. 空き家の撤去による建物由来津波災害廃棄物の削減効果

総務省統計局が実施した最新の住宅・土地統計調査によると、1973年から2013年の四十年間で、全国の空き家数は172万戸から820万戸に、空き家率も5.5パーセントから13.5パーセントに上昇しており、地震および津波に脆弱な腐朽や破損のある木造空き家は147万戸も存在している。遠州七市の空き家数をみると、2008年から2013年の五年間で52,670戸から80,650戸に増加しており、地震および津波に脆弱な腐朽や破損のある木造空き家は9,370戸も存在している。人口減少や少子高齢化により、縮退を余儀なくされている遠州七市では、このような脆弱な空き家は増加の一途を辿るであろう。

南海トラフ巨大地震発生前に、遠州七市にある利活用の見込めない脆弱な空き家を撤去しておくことは、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」の削減にもつながる。そこで、「空き家を撤去する場合」と「空き家を撤去しない場合」の建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を比較することで、空き家の撤去による建物由来津波災害廃棄物の削減効果を明らかにした。

住宅・土地統計調査における空き家は「二次的住宅」、「賃貸用の住宅」、「売却用の住宅」、「その他の住宅」の四つに区分されている。取り分け、長期にわたり居住世帯が不在である「その他の住宅」は利活用を見込まれていない。ゆえに、「その他の住宅」に区分されている腐朽や破損のある木造一戸建て空き家をシナリオ反映空き家に設定した。

最新の住宅・土地統計調査にもとづき、シナリオ反映空き家数とその延床面積を、浜松市は3,990棟で134.7平方メートルに、磐田市は760棟で131.2平方メートルに、掛川市は470棟で140.8平方メートルに、袋井市は240棟で133.4平方メートルに、湖西市は350棟で135.4平方メートルに、御前崎市は50棟で139.9平方メートルに、牧之原市は350棟で148.4平方メートルに設定した。尚、一戸建ての戸数と棟数は同じになると仮定したこと、シナリオ反映空き家の延床面積は各市における一戸建て一住宅あたりの延床面積データで代替したことに留意する。さらに、シナリオ反映空き家が一様に分布していると仮定すると、シナリオ反映空き家数に津波浸水域内最大建物割合を乗じることで算出できる津波浸水域内最大シナリオ反映空き家数は、浜松市が407棟、磐田市が41棟、掛川市が6棟、袋井市が1棟、湖西市が72棟、御前崎市が5棟、牧之原市が137棟である。

シナリオ反映空き家由来最大津波災害廃棄物「質」「量」の推計により明らかにした、遠州七市各市におけるシナリオ反映空き家の撤去による建物由来津波災害廃棄物の削減効果を示すと、その地域差を確認できる。また、シナリオ反映空き家の撤去による建物由来津波災害廃棄物の削減効果は、海岸保全施設の整備による建物由来津波災害廃棄物の削減効果よりもはるかに小さいことも分かった。

空き家(建物)の処理費用は、平常時が私費負担、災害時が公費負担であるため、南海トラフ巨大地震発生前に撤去されていれば、「フリーライド(ただ乗り)」から脱却できる。しかし、浜松市でさえ、負担する最大のシナリオ反映空き家由来津波災害廃棄物処理費用額は121,733,944円であるため、市が対策を講じる十分な誘因にはなりえない。

たしかに、各市の処理費用負担額は小さいものの、地震の揺れにより倒壊する空き家もあること、全国分の合算があることから、国の処理費用負担額は大きくなるため、国の積極的関与が望ましい。実際、Yokoyamaらは、遠州七市におけるシナリオ反映空き家由来地震災害廃棄物の処理費用とシナリオ反映空き家由来津波災害廃棄物の処理費用との合算値が119億円にもものぼると推計している[88]。国土交通省が実施した空き家実態調査では、空き家所有者の40パーセントが解体費用を負担したくないために、空き家をそのままにしておく報告されており、津波浸水域内シナリオ反映空き家のうち、例えば、迅速な道路啓開に資する緊急輸送道路沿いの空き家を第一優先として、税制度や補助金制度を拡充していくことが有効策になりうるかもしれない[89]。

5. 研究成果と提言

本研究における主な定量分析の成果は、以下の五点である。

成果 1: 津波発生時の「いつ」「どれくらい」という不確実性を考慮した建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」の推計方法の一例を提示できた。

成果 2: 建物由来津波災害廃棄物の推計モデルに伴う、建物津波被災確率、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位、建設資材投入割合、建物由来津波災害廃棄物処理単価や費用負担というパラメータの設定方法の一例を提示できた。

成果 3: 「津波断層モデル」と「堤防破壊条件」を不確実要因として、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を推計できた。

成果 4: 「海岸保全施設の整備」を不確実要因として、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を推計でき、さらに、「海岸保全施設の耐震化」と「レベル 1 津波対策施設の整備」による建物由来津波災害廃棄物の削減効果も把握できた。

成果 5: 「空き家の撤去」を不確実要因として、建物由来津波災害廃棄物「質」「量」「処理費用」を推計でき、さらに、「腐朽や破損のある木造一戸建て空き家の撤去」による建物由来津波災害廃棄物の削減効果も把握できた。

また、研究成果の一部を、2016 年 9 月中旬に、立正大学品川キャンパスで開催された第 19 回日本環境共生学会学術大会にて、口頭発表を(題目: 南海トラフ巨大地震による津波災害廃棄物発生量の推計—静岡県遠州を事例として—)、2016 年 11 月中旬に、東京大学柏の葉キャンパス駅前サテライトで開催された CSIS DAYS 2016 全国共同利用研究発表大会にて、口頭発表およびポスター発表を(題目: 南海トラフ巨大地震による津波災害廃棄物発生量からみた仮置場候補地の評価)、2017 年 1 月下旬に、愛知大学豊橋キャンパスで開催された 2016 年度越境地域政策研究フォーラムにて、ポスター発表を(題目: 土地利用からみた津波災害廃棄物の「質」「量」の推定)、2017 年 9 月下旬に、タイのバンコクで開催された International Symposium of the 11th and the 5th RCND 2017 にて、口頭発表をしてきた(題目: Reduction Effects on Amount and Disposal Cost of Debris by Planned Clearance of Vacant Houses—A Case Study of Enshu, Shizuoka Prefecture, Japan—)。

最後に、静岡県庁への定量分析結果のフィードバックとヒアリングを通じて分かったことを含めて、以下の二点を提言したい。

提言 1: 県や市町村は、発災前における推計値、発災直後における推計値、発災からしばらくした後における推計値の「ずれ」を許容しているため、その許容範囲を的確に把握し、建物由来津波災害廃棄物の推計方法も地方公共団体のニーズに歩み寄ることで、エビデンスにもとづく災害廃棄物処理計画への改善につなげるべきだ。

提言 2: 津波対策を担当している部署と災害廃棄物対策を担当している部署の横の連携、県や市町の縦の連携が十分になく、例えば、レベル 1 津波対策施設整備後の津波浸水深データが全庁に共有されていないなど、情報の分断も散見されることから、まずは、複数の部署で災害廃棄物対策について対話する場を設けるべきだ。

補注

(1) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律第二条:この法律において「廃棄物」とは、ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、ふん尿、廃油、廃酸、廃アルカリ、動物の死体その他の汚物又は不要物であつて、固形状又は液状のもの(放射性物質及びこれによつて汚染された物を除く。)をいう。2. この法律において「一般廃棄物」とは、産業廃棄物以外の廃棄物をいう。3. この法律において「特別管理一般廃棄物」とは、一般廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるものをいう。4. この法律において「産業廃棄物」とは、次に掲げる廃棄物をいう。一. 事業活動に伴つて生じた廃棄物のうち、燃え殻、汚泥、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類その他政令で定める廃棄物 二. 輸入された廃棄物(前号に掲げる廃棄物、船舶及び航空機の航行に伴い生ずる廃棄物(政令で定めるものに限る。第十五条の四の五第一項において「航行廃棄物」という。)並びに本邦に入国する者が携帯する廃棄物(政令で定めるものに限る。同項において「携帯廃棄物」という。)を除く。)5. この法律において「特別管理産業廃棄物」とは、産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するものとして政令で定めるものをいう。6. この法律において「電子情報処理組織」とは、第十三条の二第一項に規定する情報処理センターの使用に係る電子計算機(入出力装置を含む。以下同じ。)と、第十二条の三第一項に規定する事業者、同条第三項に規定する運搬受託者及び同条第四項に規定する処分受託者の使用に係る入出力装置とを電気通信回線で接続した電子情報処理組織をいう。

(2) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律第六条の二:市町村は、一般廃棄物処理計画に従つて、その区域内における一般廃棄物を生活環境の保全上支障が生じないうちに収集し、これを運搬し、及び処分(再生することを含む。第七条第三項、第五項第四号ハからホまで及び第八項、第七条の三第一号、第七条の四第一項第五号、第八条の二第六項、第九条第二項、第九条の二第二項、第九条の二の二第一項第二号及び第三項、第九条の三第十二項(第九条の三の三第三項において準用する場合を含む。)、第十三条の十一第一項第三号、第十四条第三項及び第八項、第十四条の三の二第一項第五号、第十四条の四第三項及び第八項、第十五条の三第一項第二号、第十五条の十二、第十五条の十五第一項第三号、第十六条の二第二号、第十六条の三第二号、第二十三条の三第二項、第二十四条の二第二項並びに附則第二条第二項を除き、以下同じ。)しなければならない。2. 市町村が行うべき一般廃棄物(特別管理一般廃棄物を除く。以下この項において同じ。)の収集、運搬及び処分に関する基準(当該基準において海洋を投入処分の場所とすることができる一般廃棄物を定めた場合における当該一般廃棄物にあつては、その投入の場所及び方法が海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律(昭和四十五年法律第百三十六号)に基づき定められた場合におけるその投入の場所及び方法に関する基準を除く。以下「一般廃棄物処理基準」という。)並びに市町村が一般廃棄物の収集、運搬又は処分を市町村以外の者に委託する場合の基準は、政令で定める。3. 市町村が行うべき特別管理一般廃棄物の収集、運搬及び処分に関する基準(当該基準において海洋を投入処分の場所とすることができる特別管理一般廃棄物を定めた場合における当該特別管理一般廃棄物にあつては、その投入の場所及び方法が海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律に基づき定められた場合におけるその投入の場所及び方法に関する基準を除く。以下「特別管理一般廃棄物処理基準」という。)並びに市町村が特別管理一般廃棄物の収集、運搬又は処分を市町村以外の者に委託する場合の基準は、政令で定める。4. 土地又は建物の占有者は、その土地又は建物内の一般廃棄物のうち、生活環境の保全上支障のない方法で容易に処分することができる一般廃棄物については、なるべく自ら処分するように努めるとともに、自ら処分しない一般廃棄物については、その一般廃棄物処理計画に従い当該一般廃棄物を適正に分別し、保管する等市町村が行う一般廃棄物の収集、運搬及び処分に協力しなければならない。5. 市町村長は、その区域内において事業活動に伴い多量の一般廃棄物を生ずる土地又は建物の占有者に対し、当該一般廃棄物の減量に関する計画の作成、当該一般廃棄物

を運搬すべき場所及びその運搬の方法その他必要な事項を指示することができる。6. 事業者は、一般廃棄物処理計画に従ってその一般廃棄物の運搬又は処分を他人に委託する場合その他その一般廃棄物の運搬又は処分を他人に委託する場合には、その運搬については第七条第十二項に規定する一般廃棄物収集運搬業者その他環境省令で定める者に、その処分については同項に規定する一般廃棄物処分業者その他環境省令で定める者にそれぞれ委託しなければならない。7. 事業者は、前項の規定によりその一般廃棄物の運搬又は処分を委託する場合には、政令で定める基準に従わなければならない。

(3) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律第二十二條: 国は、政令で定めるところにより、市町村に対し、災害その他の事由により特に必要となつた廃棄物の処理を行うために要する費用の一部を補助することができる。

(4) 海岸法第二條: この法律において「海岸保全施設」とは、第三條の規定により指定される海岸保全区域内にある堤防、突堤、護岸、胸壁、離岸堤、砂浜(海岸管理者が、消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けたもので、主務省令で定めるところにより指定したものに限る。)その他海水の侵入又は海水による浸食を防止するための施設(堤防又は胸壁にあつては、津波、高潮等により海水が当該施設を越えて侵入した場合にこれによる被害を軽減するため、当該施設と一体的に設置された根固工又は樹林(樹林にあつては、海岸管理者が設けたもので、主務省令で定めるところにより指定したものに限る。)を含む。)をいう。

(5) 海岸法第一條: この法律は、津波、高潮、波浪その他海水又は地盤の変動による被害から海岸を防護するとともに、海岸環境の整備と保全及び公衆の海岸の適正な利用を図り、もつて国土の保全に資することを目的とする。

(6) 建築士法第三條の二: 前條第一項各号に掲げる建築物以外の建築物で、次の各号に掲げるものを新築する場合においては、一級建築士又は二級建築士でなければ、その設計又は工事監理をしてはならない。一. 前條第一項第三号に掲げる構造の建築物又は建築物の部分で、延べ面積が三十平方メートルを超えるもの 二. 延べ面積が百平方メートル(木造の建築物にあつては、三百平方メートル)を超え、又は階数が三以上の建築物 2. 前條第二項の規定は、前項の場合に準用する。3. 都道府県は、土地の状況により必要と認める場合においては、第一項の規定にかかわらず、条例で、区域又は建築物の用途を限り、同項各号に規定する延べ面積(木造の建築物に係るものを除く。)を別に定めることができる。

(7) 建築士法第三條の三: 前條第一項第二号に掲げる建築物以外の木造の建築物で、延べ面積が百平方メートルを超えるものを新築する場合においては、一級建築士、二級建築士又は木造建築士でなければ、その設計又は工事監理をしてはならない。2. 第三條第二項及び前條第三項の規定は、前項の場合に準用する。この場合において、同條第三項中「同項各号に規定する延べ面積(木造の建築物に係るものを除く。)」とあるのは、「次條第一項に規定する延べ面積」と読み替えるものとする。

謝辞

本稿は、主査である慶應義塾大学環境情報学部巖網林教授の五年間にわたるご指導ご鞭撻の賜物であり、衷心より感謝申し上げます。適宜、副査である慶應義塾大学環境情報学部大木聖子准教授および慶應義塾大学環境情報学部袖野玲子准教授には、ご助言をいただいた。静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課の津島康弘氏と鈴木知陽氏および静岡県くらし・環境部環境局廃棄物リサイクル課の榎本剛之氏には、ヒアリングに応じていただいた。構造設計事務所である株式会社ジェーエスディーの千葉陽一氏には、建物由来津波災害廃棄物発生量原単位の設定についてご助言をいただいた。株式会社三菱総合研究所科学・安全政策研究本部社会リスク対策グループにおけるインターンシップより、ビジネスサイドからの知見を得られた。ここに記して謝意を表す。

本研究は、環境省環境研究総合推進費プロジェクト「巨大地震による震災廃棄物に関わる社会リスクをふまえ

たサステイナブルな適応策評価(研究代表者:北詰恵一(関西大学), 研究番号:3K153008)」、愛知大学三遠南信地域連携研究センターとの共同研究「南海トラフ巨大地震に対する地域脆弱性の評価と対策検討(研究代表者:大木聖子, 研究番号:7)」、東京大学空間情報科学研究センター(CSIS:Center for Spatial Information Science)との共同研究「南海トラフ巨大地震による東海地方における津波災害廃棄物発生量の推計と仮置き場の候補地の選定に関する研究(研究代表者:巖網林, 研究番号:683)」、2016年度森泰吉郎記念研究振興基金「津波被災地の防潮堤事業からみた「創造的復興」の評価(研究代表者:横山魁, 研究番号:37)」、2017年度森泰吉郎記念研究振興基金「津波災害廃棄物発生要因分析とリスク軽減策の検討(研究代表者:横山魁, 研究番号:1)」の助成を得た。

参考文献

- [1] 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013):南海トラフの地震活動の長期評価(第二版)について, pp.5-6
- [2] 内閣府(2015):日本の災害対策 Disaster Management in Japan, p.17
- [3] 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012):南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告), pp.40-87
- [4] 環境省巨大地震発生時における災害廃棄物対策検討委員会(2014):巨大災害発生時における災害廃棄物対策のランドデザインについて中間とりまとめ, pp.14-17
- [5] 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部(2014):災害廃棄物対策指針, pp.1-9-1-10
- [6] 静岡県(2017):静岡県災害廃棄物処理計画, p.3
- [7] 環境省大規模災害発生時における災害廃棄物対策検討会(2015):災害時における災害廃棄物対策に係るアンケート調査, pp.5-6
- [8] 豊橋市(2017):豊橋市災害廃棄物処理計画改訂版, pp.4-5
- [9] 田原市(2016):田原市災害廃棄物処理計画, pp.6-8
- [10] 鶴房佑樹・森口祐一・中谷隼(2014):東日本大震災における沿岸市町村の災害廃棄物の発生量・処理量の比較分析, 土木学会論文集 G(環境), Vol.70, No.6, pp. II_23-II_32
- [11] 国土交通省都市局(2011):東日本大震災による被災現況調査結果について(第1次報告), p.8
- [12] 国土地理院(2011):津波浸水範囲の土地利用別面積について, p.3
- [13] 環境省東北地方環境事務所・一般財団法人日本環境衛生センター(2014):東日本大震災により発生した被災3県(岩手県・宮城県・福島県)における災害廃棄物等の処理の記録資料編, pp.81-84
- [14] 宮城県東日本大震災に係る災害廃棄物処理業務総括検討委員会(2015):東日本大震災に係る災害廃棄物処理業務総括検討報告書参考資料集, pp.13-20
- [15] Yan W., Yokoyama K., and Hua J. (2017): Statistical Estimation of Tsunami Waste and the Treatment in the Great East Japan Earthquake, Internet Journal of Society for Social Management Systems
- [16] 岩手県(2015):東日本大震災津波により発生した災害廃棄物の岩手県における処理の記録, p.12
- [17] Bhurtel J., Higuchi T., Ukita M., and Kubota A. (2001): Emission of Polychlorinated Dibenzop-dioxins and Polychlorinated Dibenzofurans from the Combustion of Municipal Solid Wastes Produced by a Natural Disaster, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol.67, No.6, pp.848-855
- [18] Yasuhara A., Katami T., and Shibamoto T. (2003): Formation of PCDDs, PCDFs, and Coplanar PCBs from Incineration of Various Woods in the Presence of Chlorides, Environmental Science and Technology, Vol.37, pp.1563-1567

- [19]山本昌宏・切川卓也(2015):東日本大震災における災害廃棄物処理を振り返って,環境研究, Vol.179, pp.32-46
- [20]中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012):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, p.3
- [21]静岡県(2013):静岡県第4次地震被害想定調査(第一次報告), p.III-29
- [22]Hirayama N., Shimaoka T., Fujiwara T., Okayama T., and Kawata Y.(2010):Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps, Waste Management and the Environment, Vol.140, pp.167-178
- [23]平山修久・河田恵昭・奥村与志宏(2012):東日本大震災における災害廃棄物量の推定と災害対応, 廃棄物資源循環学会誌, Vol.23, No.1, pp.3-9
- [24]山中稔・豊田尚也・野々村敦子・長谷川修一(2014):東南海・南海地震による四国各都市の津波災害廃棄物発生量の推定, 材料, Vol.63, No.2, pp.131-136
- [25]山中稔・豊田尚也・野々村敦子・長谷川修一(2014):東日本大震災の公表データにより求めた津波災害廃棄物発生量推定手法の四国地域への適用, 自然災害科学, Vol.33, pp.185-196
- [26]横山魁・巖網林(2016):南海トラフ巨大地震による津波災害廃棄物発生量の推計—静岡県遠州を事例として—, 日本環境共生学会第19回学術発表論文集, pp.171-176
- [27]尾崎平・盛岡通(2016):建物属性の推定に基づく地震・津波災害による廃棄物発生量の推計, 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.153-154
- [28]中央防災会議(2017):「南海トラフ地震防災対策推進地域」及び「南海トラフ地震津波避難対策特別強化地域」の指定基準について, pp.3-4
- [29]中央防災会議(2014):南海トラフ地震防災対策推進基本計画, pp.16-17
- [30]大西暁生・田畑智博(2017):防潮堤の機能の違いによる建築物由来における津波廃棄物発生量の抑制効果—三重県の南海トラフ地震におけるケース, 都市計画報告集, No.16, pp.78-81
- [31]多島良・大迫政浩(2017):廃棄物処理システムの災害レジリエンス評価ツールの開発, 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.143-144
- [32]平山修久・上村俊一・永田尚人・河田恵昭(2017):2016年熊本地震と1995年阪神・淡路大震災の比較検討による災害廃棄物量低減策, 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.165-166
- [33]梶友樹・古市徹・翁御棋・石井一英・金相烈(2012):地域特性を考慮した建築物ストック崩壊量の推計モデルの提案と地域復興計画への応用—東日本大震災を教訓として—, 第40回環境システム研究論文発表会講演集, pp.65-70
- [34]中央防災会議(2017):南海トラフ地震防災対策推進地域指定市町村一覧, p.1
- [35]静岡県・愛知県(2015):遠州灘沿岸海岸保全基本計画(変更), p. I
- [36]静岡県浜松土木事務所(2014):沿岸域防潮堤整備推進協議会第6回資料, p.6
- [37]中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ(2012):都府県別市町村別最大津波高一覧表, p.2
- [38]中央防災会議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(2011):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報告, pp.9-11
- [39]国土交通省(2012):国土交通白書 2012 平成23年度年次報告, p.35
- [40]復興庁(2017):公共インフラの本格復旧・復興の進捗状況(平成29年9月末時点), p.1
- [41]気仙沼市東日本大震災調査特別委員会(2017):海岸防潮堤・河川堤防工事の進捗状況と他事業への影

響について, p.1

- [42]今川悟(2014):未来を考える力を気仙沼復興レポート②未来に遺す防潮堤とは, p.14
- [43]郭じゅん・加藤大祐・櫻井優一・西崎智紀・福島和矢(2014):気仙沼市小泉地区における防潮堤建設計画に関する費用便益分析, pp.1-44
- [44]清野聡子・芹沢真澄・上田真寿夫・宇多高明(2001):新海岸法の下での防護・環境・利用に配慮した越波対策検討の問題点, 海岸工学論文集, Vol.48, pp.761-765
- [45]今川悟(2016):未来を考える力を気仙沼復興レポート③震災5年目の防潮堤, p.1
- [46]清野聡子・宇多高明・星上幸良・芹沢真澄・古池鋼(2002):海岸防護・環境・利用の調整のためのゾーニング手法の限界と“ポインティング”手法の提案, 海岸工学論文集, Vol.49, pp.1451-1455
- [47]静岡県交通基盤部(2017):静岡県地震・津波対策アクションプログラム 2013(平成29年2月改訂)による津波対策施設の整備(ハード対策)の概要, pp.2-6
- [48]静岡県交通基盤部(2017):静岡県の地震・津波対策を進めています, pp.4-5
- [49]静岡県浜松土木事務所(2017):浜松市沿岸域防潮堤整備, pp.1-4
- [50]Asian Disaster Reduction Center(2015):Total Disaster Risk Management—Good Practices—, pp.5-6
- [51]The United Nations Office for Disaster Risk Reduction(2015):Proposed Updated Terminology on Disaster Risk Reduction: A Technical Review, pp.1-32
- [52]沼津市(2014):県第4次地震被害想定地震・津波ハザードマップ沼津市全市版, p.1
- [53]森傑(2013):予防としての高台集団移転の可能性を探る、沼津市内浦重須地区, 新都市, Vol.67, No.1, pp.20-24
- [54]内閣官国土強靱化推進室(2017):国土強靱化民間の取組事例集, p.133
- [55]国土交通省(2012):津波防災地域づくりに関する法律について, pp.21-23
- [56]静岡県交通基盤部河川砂防局(2015):津波災害警戒区域及び津波災害特別警戒区域の指定の手引き, p.52
- [57]国土交通省中部地方整備局(2013):地震・津波災害に強いまちづくりガイドライン(中間とりまとめ), pp.143-145
- [58]南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012):南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—, pp.7-8
- [59]一般財団法人日本環境衛生センター(2014):南海トラフ巨大地震と災害廃棄物処理, p.21
- [60]静岡県交通基盤部(2017):レベル1津波対策の施設整備による減災効果, p.2
- [61]羽鳥徳太郎(1984):津波による家屋の破壊率, 地震研究所彙報, Vol.59, pp.433-439
- [62]首藤伸夫(1992):津波強度と被害, 津波工学研究報告, Vol.9, pp.101-136
- [63]越村俊一・行谷佑一・柳澤英明(2009):津波被害関数の構築, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.4, pp.320-331
- [64]越村俊一・郷右近英臣(2012):2011年東北地方太平洋沖地震津波災害における建物脆弱性と津波被害関数, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_336- I_340
- [65]一般社団法人日本建築学会(2011):Excelで学ぶ地震リスク評価, 技法堂出版, pp.43-47
- [66]国土交通省国土技術政策総合研究所(2012):津波避難ビル等の構造上の要件の解説, pp. I -7- I -11
- [67]高月紘・酒井伸一・水谷聡(1995):災害と廃棄物性状—災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化—, 廃棄物学会誌, Vol.6, No.5, pp.351-359
- [68]国立研究開発法人国立環境研究所(2011):災害廃棄物の発生原単位について(第一報), p.1

- [69]環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部(2014):災害廃棄物等の発生量の推計, pp.8-11
- [70]中央防災会議東海地震対策専門調査会(2003):東海地震に係る被害想定手法について, p.40
- [71]中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会(2003):東南海・南海地震に係る被害想定手法について, p.40
- [72]JSD(2013):スラスラ構造計算スーパー略算法, エクスナレッジ, p.14
- [73]国土交通省土地・建設産業局建設市場整備課(2016):建設資材・労働力需要実態調査[建築部門](平成25年度原単位)の結果について, p.4
- [74]公益財団法人日本産業廃棄物処理振興センター(2016):産業廃棄物の種類ごとの集計単位と重量換算係数, p.1
- [75]唐橋俊夫・岡村宏・久保田時人(1983):建築材料データブック, オーム社, pp.4-1-4-5
- [76]Ministry of the Environment(2012):Disaster Waste Treatment Progress Management,
URL:http://kouikishori.env.go.jp/en/archive/h23_shinsai/progress_management/(last date accessed:21 Dec 2017)
- [77]Ministry of the Environment(2011):Guidelines (Master Plan) for Disaster Waste Management after the Great East Japan Earthquake, pp.2-3
- [78]宮城県(2014):災害廃棄物処理業務の記録, pp.10-13
- [79]遠藤真弘(2011):東日本大震災後の災害廃棄物処理—これまでの取り組みと今後の課題—, 調査と情報, pp.3-4
- [80]平山修久・河田恵昭(2005):水害時の行政対応における災害廃棄物発生量に関する研究, 地域安全学会論文集, Vol.7, pp.325-330
- [81]成田裕也・越村俊一(2015):津波被害の地域特性に基づく津波被害関数の類型化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, pp. I_331- I_336
- [82]会計検査院(2014):平成25年度決算検査報告, pp.1128-1130
- [83]水谷一平・立尾浩一・橋本征二(2017):南海トラフ巨大地震の災害廃棄物処理に要する費用とCO₂排出量の推計, 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.173-174
- [84]尾崎平・盛岡通(2017):災害廃棄物発生量の推計に関する原単位の影響, 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.159-160
- [85]静岡県(2015):津波浸水想定について(解説), pp.12-13
- [86]成瀬進・北原政宏(1998):海岸事業の費用対便益分析について, 海岸工学論文集, Vol.45, pp.1231-1235
- [87]浜松市(2014):浜松市津波防災地域づくり推進計画, pp.20-21
- [88]Yokoyama K. and Yan W.(2018):Reduction Effects on Amount and Disposal Cost of Debris by Planned Clearance of Vacant Houses—A Case Study of Enshu, Shizuoka Prefecture, Japan—, Internet Journal of Society for Social Management Systems
- [89]国土交通省住宅局(2015):平成26年空家実態調査集計結果, p.109