

2019 年度（第 55 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 19-B-6

災害ごみの最新の知見とその対策

名古屋大学減災連携研究センター 准教授

平山修久

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2019 年 9 月

災害ごみの最新の知見とその対策

Cutting-edge Findings Related to Disaster Debris and Its Action

平山修久
Nagahisa HIRAYAMA

1. はじめに

2018年には、2018年1月から2月にかけての豪雪、2018年6月18日大阪府北部の地震、2018年7月西日本豪雨災害、2018年台風21号災害、2018年9月6日北海道胆振東部地震の自然災害が発生し、その後の災害廃棄物対応においてもさまざまな課題が生じている。また、2019年は、災害対策基本法制定の契機となるなど今日の我が国における防災対策の原点となった1959年伊勢湾台風から60年の節目の年となる。本稿では、災害廃棄物発生量推定方法の現状と展望¹⁾や南海トラフ巨大地震の災害対応リソース²⁾に関する研究成果を準用しながら、災害廃棄物に関する最新の知見、2011年東日本大震災以降の対策、ならびに今後の巨大災害に向けた課題について論述する。

2. 水害廃棄物、津波廃棄物の量の推定技術

2.1 既存の量的推計方法

災害廃棄物に係る量的推計手法については、以下の3つの要素に整理できる。過去の災害における処理実績値を基に原単位を推定する調査研究である。これらの研究は、結果として市町村の廃棄物部局の要処理量の原単位に関する研究である。ここでは、被害を代表する指標を乗じてマクロ的に算出するものである。次に、災害廃棄物の元となる物的資本のストックに着目し、その資材投入量、製品重量、廃棄時の重量から原単位を導出する研究がある。これは、市町村の廃棄物部局が処理する量ではなく、災害廃棄物として発生した時点における量の原単位に関する検討であり、物的資本の種類ごとに作成された原単位を用いて積算する。最後に、物的資本のストック量と災害情報から被害量を推計する方法に関する研究であり、建物等の財ごとにストック量の情報を面的に整理したうえで、各物的資本のストックが曝される災害強度を明らかにし、災害強度に応じてどの程度の被害が生じるかを表した被害率を乗じることで推計する。

2.2 水害の要処理量原単位

水害に係る要処理量の原単位は、平山、河田³⁾が示している。2004年に水害が発生した市町村の実処理量をもとに、災害廃棄物要処理量を被説明変数、全壊、大規模半壊、半壊、一部損壊、床上浸水、床下浸水の世帯数を説明変数とする重回帰モデル(N=48)により推計式を得ている。モデルの説明力は十分であるが、全壊の非標準化係数のみが5%水準で有意と認められなかった点が課題と指摘している。また、推計式を用いて得た予測値と実処理量の比較から、水害廃棄物量が1,000tを超える場合は高い精度で推計可能としている。

築谷⁴⁾は、本方法を用いて2004年台風23号により発生した兵庫県における水害廃棄物量を推計し、実処理量と比較したところ、被害が大きい市町で(水害廃棄物量が3,000t以上)では推計値/実処理量の値が0.78~1.14に収まっており、有効な方法であると報告している。田中ら⁵⁾も同様に平成26年福井豪雨災害で検証した結果、実処理量の0.91~1.68倍の推計値が得られたことから、災害廃棄物の全量を推計するための有効な手段であると評価している。一方で、鶴巻ら⁶⁾は紀伊半島大水害において実処理量と本原単位による予測値を比較したところ、予測値が実処理量の半分程度になると指摘している。また、平山⁷⁾は2005年8月のハリケーン・カトリーナ災害の事例で同推計方法を検証したところ、大きく過小評価となったことから、超大

規模、あるいは、長期浸水を伴う水害については原単位が異なる可能性を指摘している。

また、水害廃棄物対策指針⁹⁾では、平成13年度に水害経験自治体を対象に行ったアンケート調査の結果から、全99事例の80%で被災建物1棟あたりの災害廃棄物量が2t以下であったため、単位被害家屋あたり2t程度で算出すれば大きく外さない推計値が得られる可能性が高いとしている。また、比較的被災の程度が軽いケース（全被害家屋に占める床上浸水家屋の割合が50%未満）のみ集計すると、90%以上が2t/棟以下、100%が3t/棟以下の発生量であったと報告されている。

2.3 津波の要処理量原単位

津波災害の要処理量原単位については、東日本大震災の実績を基にした研究が進められている。2011年東日本大震災での津波被害とその廃棄物については、我が国が近代文明国家として発展して以来経験したことがないものであった。したがって、2011年3月11日の発災時点では、津波廃棄物の要処理量や津波堆積物量を推定する手法は明らかになっていない。平山ら⁹⁾は、2011年東日本大震災後に、津波による浸水域や浸水深の災害情報に基づき、住家被害を考慮した災害廃棄物発生量原単位を用いて、災害初動時に津波廃棄物の要処理量の推定を行っている。そこでは、2011年4月時点で、被災6県で約2,700万tと推定している。平山、大迫¹⁰⁾は、東日本大震災の災害廃棄物処理が完了した後、東日本大震災における宮城県、岩手県の被災市町村における実処理量を被説明変数、全壊棟数とその他半壊棟数（大規模半壊から床下浸水までの合計値）を説明変数とし、その他半壊の非標準化係数は全壊の20%という制約を設けた重回帰モデル（N=20）により推計式を導出している。この処理実績値には、住家から発生したもの以外にも、公共施設や非住家、通常の災害時には市町村で処理しない大企業由来の災害廃棄物等が含まれている一方で、海洋流出分やかき出し土砂（津波堆積物）、火災による消失物は含まれていない。本原単位は、災害廃棄物対策指針¹¹⁾に採用されている。

山中ら^{12,13)}は、平山、大迫¹⁰⁾と同様の考え方により、東日本大震災における宮城県、岩手県、福島県の被災市町村の災害廃棄物実処理量を基にした重回帰分析（N=35）により原単位を導出している。ここでは、全壊棟数、半壊棟数、一部損壊棟数を説明変数の候補とした複数のモデルで分析し、推定値の標準誤差等より比較検討したところ、全壊棟数と半壊棟数を説明変数とするモデルが適していると判断している。

鶴房ら¹⁴⁾は東日本大震災における岩手県、宮城県、福島県の被災市町村の実処理量データを用い、浸水面積を説明変数とする単回帰分析（N=32）により、単位浸水面積当たりの要処理量を示す原単位を得ている。また、地形により廃棄物発生量の傾向が異なり、原単位も大きく変わることを示している。

津波に係る上記の3つの要処理量原単位は、いずれも回帰分析から導出されており、モデルの説明力を示す決定係数と非標準化係数の統計的有意性からその妥当性を示している。

2.4 片づけごみの原単位

片づけごみの原単位については、災害時に各世帯から排出される量ではなく、平時において保有されている量の原単位が検討されている。田畑ら¹⁵⁾が18品目の主要耐久消費財に焦点をあて、普及率と1台当たりの重量（平均値、中央値、四分位数）から、財の種類ごとに質量原単位（1台当たりの平均的な重量）と、世帯当たりの保有量（kg/世帯）を求めている（例えば、冷蔵庫は61.00kg/台、71.68kg/世帯、いずれも中央値）。このうち、特定家電の質量原単位については、新潟県中越地震の実処理量（処理台数と処理重量の値）を用いて、実処理量と近い推計値を得られることが確認されている。

2.5 解体廃棄物の原単位

木造建築物の原単位については、高月ら¹⁶⁾は、阪神・淡路大震災後の被災建物解体現場で調査し（N=4）、家具等は殆ど持ち出した状態の木造家屋の解体廃棄物発生原単位を求めている。結果、最小値が0.62t/m²、最大値が0.71t/m²という値を得られている。なお、本解体工事は庭の立ち木やブロック塀の一部も含まれていた点に留意する必要がある。橋本、寺島¹⁷⁾は、建築物解体廃棄物に係る既存の原単位が大きくばらついていることをふまえ、独自調査と既存調査の結果46件について原単位の内容を精査した。そのうえで、信頼性に

ついて統計的に検討し、木造家屋については $0.491 \pm 0.049 \text{t/m}^2$ (95%信頼区間) という発生原単位を示している。また、九州大学と環境省の検討¹⁸⁾では、熊本地震における3件のモデル解体結果の平均値から 0.42t/m^2 と推定している。

資材投入量の観点から建築物の原単位をしている研究がある。長岡ら¹⁹⁾では、各種統計年報のデータから、建築物、道路、下水道のマテリアルストックを推計するために、各構造物の単位数量あたりの資材投入量を示す原単位を設定している。谷川ら²⁰⁾も同様のアプローチで資材投入量の原単位を設定しており、コンクリートの集計方法で両者に差が認められるものの、結果については概ね近い値となっている。

2.6 水害時の被害量の推計方法

Hirayama ら²¹⁾は、鈴木らによる平成16年新潟豪雨水害における中之島町の家屋被害調査に基づく被害関数を用いて、浸水深から家屋被害程度を推定し、水害時の要処理量原単位を乗じることで水害廃棄物量を推計する手法を導出している。大西²²⁾は、被災率の概念を用いた類似の推計方法を提案している。すなわち、国土交通省より提供されている浸水想定区域データより浸水域と浸水深の想定値を整理し、治水経済マニュアル²³⁾を参考に設定した浸水深別の被害率に建物情報(住宅、商業施設、学校を含む)を重ねることで浸水被害の建築物の床面積を推計している。この値に、長岡らの資材投入原単位¹⁹⁾を基に建物種別に整理した原単位を乗じることで水害廃棄物発生量を推計している。しかしながら、片づけごみを考慮していない点や、推計方法の妥当性が十分に検証されていない点等が課題と指摘している。

鶴巻ら⁶⁾は、社会資本として建物、耐久消費財、道路、森林の4種類に着目し、それぞれについて資材ストック原単位を整理して、地域の資材ストック量を推計している。例えば、建物については棟数ではなく、砂利・石材、コンクリート、木材などの資材ごとの重量でストックを求めている。このデータに浸水域を重ねることで被災範囲にあるストック量を計算している。災害廃棄物量は、資材ストック量廃棄物量への転換係数(廃棄物発生率)を仮定して推計している。仮定された廃棄物発生率の妥当性などは今後の検討課題とする一方、発生量を把握するための基礎資料として、本研究で整理された資材ストック量は利用可能と整理している。

2.7 津波災害での被害量の推計方法

梶ら²⁴⁾は、地域の建築物ストック(住宅、非住宅の両方を含む)と被災率から被害量を推計し、橋本ら¹⁷⁾の原単位を乗じることで災害廃棄物の発生量を推計している。ここで、建築物ストックについては地域ごとに建築物延床面積を推計するためのモデルを構築し、説明変数の動向を外挿することである地域のある時点における建築物延床面積を推計している。また、被災率は東日本大震災前後の衛星写真から流出棟数を目視でカウントすることで設定している。結果の妥当性については、検討されていない。

発災後の推定については、上述したように、平山ら⁷⁾が、2011年東日本大震災後に、災害初動時における津波廃棄物の要処理量の推定手法を導出している。藤原、中村²⁵⁾が航空写真等により被災状況が把握できた段階で用いる手法を提案している。すなわち、住宅地図に災害による被害の範囲を重ね合わせ、画像処理により被害範囲に含まれる建物の建築面積を求めたうえで、延べ床面積に変換して被災延床面積を推計している。その値を構造別(木造、S造、RC造)に整理し、全壊の建物は1、半壊の建物は0.5の被災率を乗じて、建物被害量を推計している。この値に、橋本ら¹⁷⁾などの既存の原単位を用いて災害廃棄物発生量の推計を試みている。

類似のアプローチで、平川ら²⁶⁾は、個々の建築物の形状、用途区分や階数などの情報が付された住宅地図データベースを活用して、ある地域におけるすべての建築物について構造と延べ床面積を推計している。そのうえで、建物構造別に整備されている単位延べ床面積当たりの資材投入原単位を乗じることで資材別(コンクリート、木材、陶磁器など区分)の物質ストックを推計している。GIS上で表現されたこのデータに津波被災範囲の情報を重ね合わせることで被災した建築物を特定し、東日本大震災で失われた物質ストックを推計している。推計結果の精度が課題と指摘している。

また、航空写真ではなく現地踏査による手法として、津田²⁷⁾の報告がある。ここでは、東日本大震災において処理計画の策定支援を行った際に、発災後2か月程度までの期間で、建築物、工作物、家財道具、車両類、船舶の発生量を個別に推計している。このうち、建築物については被災後の目視調査により町ごとに倒壊割合（全数倒壊が1.0、影響なしが0、0.05単位で20段階）を設定し、課税台帳より得られる被災区域内の構造別の棟数、延床面積から被害量を求めている。そのうえで、兵庫県の原単位²⁸⁾を乗じて解体ごみ量を推計している。

2.8 マルチハザードを対象とした被害量の推計方法

平山ら²⁹⁾は、2018年7月豪雨における岡山県倉敷市真備町を対象として、限られた情報しか得られない状況において、速報値としての広範囲の浸水深の推定ならびに災害廃棄物量の推定を行う手法を提案している。ここでは、平山ら³⁰⁾が開発した地震を対象とした発災直後の推計を可能とした災害廃棄物量把握システムを基本システムとして、浸水深と建物被害程度との関係を組み込むことで、地震、津波、水害を対象として、ハザード情報から建物被害量を推計し、原単位を乗じることで、災害廃棄物の要処理量を推定するシステムを構築している。そして、浸水深を国土地理院の浸水推定段彩図における浸水域から推定し、災害初動期における災害廃棄物量の把握システム処理装置および処理方法により、真備町における災害廃棄物量を試算している。環境省³¹⁾は、災害廃棄物発生量の推計精度向上のための方策検討において、水害等を含む大規模災害時の発生原単位を導出している。

表-1 に災害廃棄物量の推計に係る原単位一覧を示す。

表-1 水害廃棄物、津波廃棄物の量の推計に係る原単位一覧

対象	文献	原単位	
水害	平山、河田 ³⁾	全壊：12.9t/世帯、大規模半壊：9.8t/世帯、半壊：6.5t/世帯、一部損壊2.5t/世帯、 床上浸水：4.6t/世帯、床下浸水：0.62t/世帯	
	環境省 ⁸⁾	2t/棟	
要 処 理 量	平山、大迫 ¹⁰⁾	全壊：116.9t/棟、半壊：23.4t/棟	
	山中ら ¹²⁾	全壊：85.4t/棟（SE = 6.62）、半壊：62.1t/棟（SE = 8.85）	
	鶴房ら ¹⁴⁾	34.2千t/km ²	
マルチハ ザード	平山ら ²⁹⁾	全壊：116.9t/棟、半壊：23.4t/棟、床上浸水：4.6t/世帯、床下浸水0.62t/世帯	
	環境省 ³¹⁾	全壊木造：0.6t/棟、全壊非木造：1.2t/棟、半壊：全壊の0.2～0.5、床上浸水：4.6t/棟、 床下浸水：0.62t/棟	
片づけ ごみ	田畑ら ¹⁵⁾	冷蔵庫：71.68kg/世帯、洗濯機：45.51kg/世帯、エアコン：93.95kg/世帯、 カラーテレビ：45.01kg/世帯	
	霧巻ら ⁶⁾	木質形：210kg/世帯、畳：300kg/世帯、冷蔵庫：125kg/世帯、廃家電：334kg/世帯、 混合その他不燃系：83kg/世帯	
発 生 量	高月ら ¹⁶⁾	木造：0.62～0.71t/m ²	
	橋本、寺島 ¹⁷⁾	木造：0.491±0.049t/m ²	
	環境省 ¹⁸⁾	木造：0.42t/m ²	
	解体ごみ	長岡ら ¹⁹⁾	【木造戸建住宅】砂利・石材：219.55kg/m ² 、木材：88.10kg/m ² 、ガラス：2.80kg/m ² 、セメント： 29.80kg/m ² 、陶磁器：76.05kg/m ² 、鉄：9.05kg/m ² 、アルミ：2.80kg/m ² 、その他：3.00kg/m ²
		谷川ら ²⁰⁾	【木造戸建住宅】砂利・石材：78kg/m ² 、コンクリート：221kg/m ² 、モルタル：3kg/m ² 、木材： 88kg/m ² 、ガラス：5kg/m ² 、陶磁器：52kg/m ² 、鉄：7kg/m ² 、アルミ：2kg/m ² 、その他：32kg/m ²

2.9 推定技術のまとめ

まず、被害量を正確に把握するための更なる技術開発が望まれる。特に発災直後において、現状では災害情報と被害率、被害関数を活用して被害量が推計されているが、リモートセンシング技術により建物被害を直接把握することが可能になれば、より簡便かつ正確に発生量、要処理量を推計することが可能になる。

また、災害フェーズごとに得られる災害廃棄物量の推計に必要な情報を効果的に活用、管理するための情報システムの開発も重要である。これまで示してきたように、災害廃棄物量の推計には様々な情報（建物分布情報、災害情報、被害情報）とパラメータ（原単位、被害率等）が必要になるが、災害時にこれらの情報を即座に組み合わせていくことは容易ではない。平時より情報システムを構築することで、異なる推計手法を選択した際の結果の比較や、パラメータの更新による推計値の更新などが各自治体で容易に行えるようになり、災害対応マネジメントがより効果的になると期待される。これらの推定技術を、府省庁連携防災情報共有システム「SIP4D」³²⁾などの災害時の横断的な情報共有利活用を実現するシステムと連携することによって、災害対応の現場の業務実態に即した技術システムへと深化することが重要であると考えられる。

3. 3.11 東日本大震災以降の災害廃棄物対策

2011年東日本大震災では、岩手、宮城、福島（避難区域を除く）など13道県において災害廃棄物約2,000万t、津波堆積物約1,100万tが生じ、政府は法令上の措置等を行い、地方自治体等関係者とともにその適正な処理の確保及び円滑かつ迅速な対応に取り組んだ。表-2に東日本大震災後の主な法令等の措置³³⁾を示す。

表-2 東日本大震災後の主な法令等の措置³³⁾

H23.3.25	東北地方太平洋沖地震における損壊家屋等の撤去等に関する指針（被災者支援特別対策本部長及び環境大臣）
H23.3.31	産業廃棄物処理施設において一般廃棄物を処理する際に必要となる都道府県知事への事前届出について、届出期間の特例の創設（環境省令第6号）
H23.4.7 H23.6.17	緊急な海洋投入処分に関する措置（環境省告示第44号、環境省告示第48号）
H23.5.9	コンクリートくず等の災害廃棄物を安定型最終処分場において埋立処分する場合の事務を簡素化する特例の創設（環境省令第8号）
H23.5.16	東日本大震災に係る災害廃棄物の処理方針（マスタープラン）
H23.7.8	被災市町村が災害廃棄物処理を委託する場合の再委託の特例の創設（政令第215号）（環境省令第15号）
H23.7.13	東日本大震災津波堆積物処理指針
H23.8.11	広域処理の推進に関するガイドライン（最終改訂H24.1.11）
H23.8.18	東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法（法律第99号）

2012年以降、環境省を中心として巨大災害に備えた災害廃棄物対策の取り組みがなされてきている。2014年3月には、1995年阪神・淡路大震災、2011年東日本大震災など地震、津波、風水害による災害廃棄物処理の経験を踏まえ、地方公共団体がより実効性のある災害廃棄物処理計画を策定するにあたっての基本的事項をとりまとめた災害廃棄物対策指針¹¹⁾が制定されている。ここでは、平時からどのように備えるのか、また、発災後に後手にならないようにどのように対応するのかについて示された災害廃棄物処理計画と、災害後に、処理計画に基づき、災害や被害の状況に応じて、災害廃棄物を具体的にどのような手順で処理していくのかを示した災害廃棄物処理実行計画が示されている。また、東日本大震災における取り組み事例、いわゆるグッドプラクティスや分別、処理に係る技術や実務マニュアルについて技術資料・マニュアルとして整備されている³⁴⁾。

2013年に、国土強靱化基本法、南海トラフ地震対策特別措置法、首都直下地震対策特別措置法が制定された。また、内閣官房に設置された国土強靱化推進本部が中心となって、国土強靱化政策大綱が公表され、災害廃棄物対策が重要な施策として位置付けられた。2014年3月に南海トラフ巨大地震や首都直下地震による災害廃棄物の発生量の推計や既存の廃棄物処理施設における処理可能量の試算等の検討を踏まえて、巨大災

害への対応を考慮した総合的な災害廃棄物対策の基本的な方向について、巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザイン³⁵⁾として取り纏められた。ここでは、以下の5つの事項について、巨大災害の発生に向けた災害廃棄物対策のあるべき方向が示されている。

- 1) 膨大な災害廃棄物の円滑な処理の確保
- 2) 東日本大震災の教訓を踏まえた発災前の周到な事前準備と発災後の迅速な対応
- 3) 衛生状態の悪化、環境汚染の最小化による国民の安全・健康の維持
- 4) 強靱な廃棄物処理システムの確保と資源循環への貢献
- 5) 大規模広域災害を念頭に置いたバックアップ機能の確保

制度的な側面からの論点整理を踏まえ、巨大災害発生時の災害廃棄物処理計画の基本的な考え方として、対策スキームが整理された。ここでは、国、都道府県、市町村、民間事業者等が平時から備えておくべき大規模災害特有の事項を整理し、一丸となって災害廃棄物対策を実施することが必要であり、大規模災害対策についての発災前の備え、発災後の対応それぞれについて、

- 1) 各主体が備えるべき大規模災害特有の対策
- 2) 都道府県境を超えた連携、我が国の7つの地域ブロックにおける行動指針作成のための指針
- 3) 国が発災後にその災害をどのように乗り越えるのかというマスタープランを策定するための指針
- 4) 通常規模の災害への備え

の4つの事項について大規模災害発生時における災害廃棄物対策行動指針³⁶⁾として取り纏められた。

上述の環境省における取り組みを踏まえて、発災前、発災後で災害廃棄物対策を切れ目なく実施、強化するための制度的な担保の必要性から、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律及び災害対策基本法の一部を改正する法律」が2015年3月24日に閣議決定され、2015年7月17日に公布、8月6日から施行された。この法改正では、廃棄物処理法において環境大臣が定めることとされている基本方針につき、新たに災害に向けた備えについても規定することにより、切れ目のない対策を具体的に推進することとし、環境省における災害廃棄物対策が、平時からの備えから災害発生時の対策まで、より遺漏のない、実効性を持たせるものとしている。

そして、東日本大震災後に発動した、環境大臣による災害廃棄物処理の代行措置について、法律を新たに制定、市町村による災害廃棄物の処理に係る委託基準等の緩和について、政令を改正、既存の産業廃棄物処理施設の活用のための手続きについて、省令を改正、等の特例措置を、今回の改正法では恒久化している。廃棄物処理法においては、

- 1) 災害時においても適正かつ円滑、迅速な廃棄物処理を図ることを基本理念として明確化
- 2) 国、地方公共団体、事業者等、災害時の廃棄物処理に関わる者の連携、協力の責務を明確にした上で、その担保として、国が策定する基本方針等の規定事項として、災害に向けた備えを追加
- 3) 災害が発生したときの円滑、迅速な廃棄物処理に向けて、災害廃棄物の処分に係る仮設処理施設の設置手続きを簡略化

が主な改正点である。

災害対策基本法については、現行の廃棄物処理に係る特例措置に加え、新たに規定、

- 1) 大規模災害が発生したときは、通常規模の災害への対策に加えて、政令の指定を受けて、環境大臣が当該災害により生じた廃棄物について処理する基本的な方向等についての指針を策定
- 2) 以上の措置及び既存の特例措置によってもなお不十分であるときは、環境大臣が、一定の要件の下、被災地域にある市町村の長から要請を受け、当該市町村における災害廃棄物の処理を自ら代行することができる

としている。図-1に廃棄物処理法及び災害対策基本法の一部を改正する法律の主な改正点³⁷⁾、図-2に新たな災害廃棄物対策における災害の規模と適用する考え方³⁷⁾を示す。

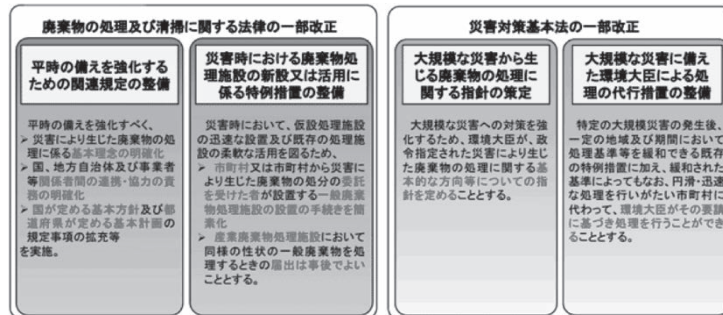


図-1 廃棄物処理法及び災害対策基本法の一部を改正する法律の主な改正点³⁷⁾

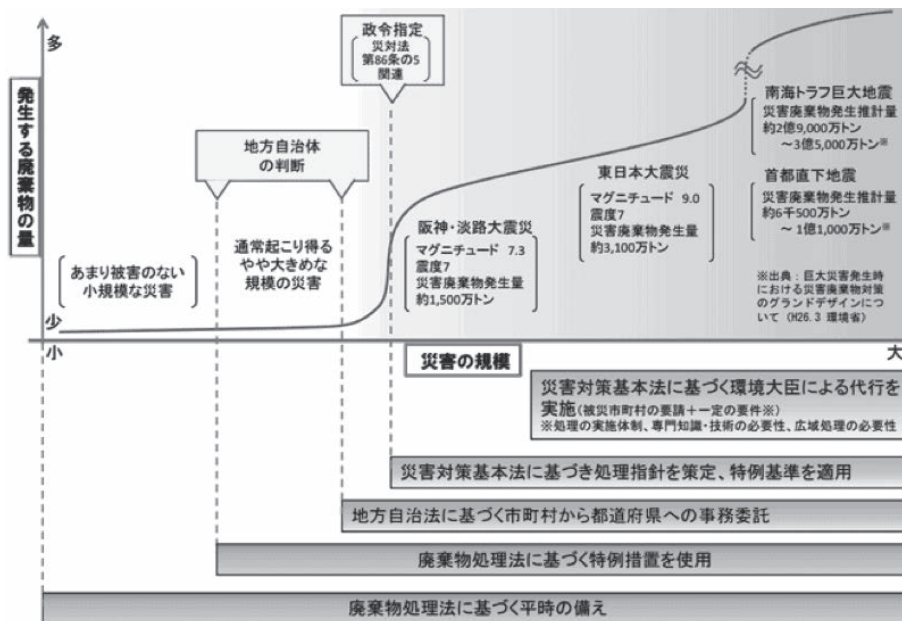


図-2 新たな災害廃棄物対策における災害の規模と適用する考え方³⁷⁾

環境省の体制強化として、環境省本省組織に災害廃棄物対策室を新設し、各地方環境事務所に災害廃棄物対策に関する専門官を新たに配置してきている³⁸⁾。また、災害廃棄物のエキスパートとして有識者や技術者、業界団体等を環境大臣が任命し、環境省が取りまとめる最新の科学的・技術的知見等を活用して、平時の備えから発災後の適正かつ円滑、迅速な災害廃棄物処理の支援まで、自治体等の災害廃棄物対策を支援するネットワークである D.Waste-Net³⁹⁾を構築している。D.Waste-Net の体制を図-3 に示す。

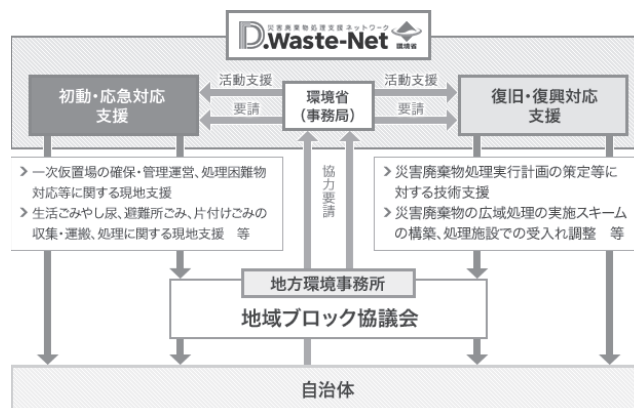


図-3 災害廃棄物処理支援ネットワーク (D.Waste-Net) の体制³⁹⁾

地域の災害廃棄物対策を強化するために、地方環境事務所が中心となり、全国 8ヶ所に地域ブロック協議会を設置し、行動計画を策定する等、都道府県の枠を越えた地域ブロック内の実効性のある災害廃棄物処理の枠組みの構築を進めている。セミナーやワークショップ等を開催し、自治体の災害廃棄物処理計画策定の支援や人材育成、災害廃棄物対策に関する最新の情報提供、共有を継続して取り組んでいる。例えば、九州ブロック協議会では、災害廃棄物処理タイムラインに関するワークショップ⁴⁰⁾を実施している。また、中部ブロック協議会では、広域連携計画の実効性を向上させることを目的として、地図を用いた大規模災害時の廃棄物処理広域連携に向けた机上演習⁴¹⁾を実施している。

第四次循環型社会形成推進計画において、万全な災害廃棄物処理態勢の構築に向けて、2025年度目標を表-3に示すように定めている。環境省では、地方公共団体における災害廃棄物処理システムの強靱化に向けて、2015年度から3カ年で、災害廃棄物処理計画策定や処理困難物対策に関する57のモデル事業を実施してきている⁴²⁾。災害廃棄物処理計画の策定にあたっては、2016年熊本地震等の経験に基づき改定した災害廃棄物対策指針(改訂版)⁴³⁾等を踏まえ、災害廃棄物の発生規模に関する事項、仮置場に関する事項、災害廃棄物処理等に関する事項についても詳細な検討を行い、災害廃棄物処理計画の策定支援を推進してきている。

表-3 万全な災害廃棄物処理体制の構築に向けた項目別指標(抜粋)⁴²⁾

項目別取組指標	数値目標(2025年度)
災害廃棄物処理計画策定率	都道府県：100% 市町村：60%
災害廃棄物に係る仮置場整備率	70%
災害廃棄物に係る教育・訓練の実施率	都道府県：80% 市町村：60%
災害時に係る有害廃棄物対策検討実施率	100%

人材育成の観点からは、環境省では、2017年度から、災害廃棄物対策に関する人材育成を目的としたモデル事業を実施している。森ら⁴⁴⁾は災害廃棄物処理に携わった自治体職員を対象としたワークショップを実施し、知識、スキル、マインド・態度という災害廃棄物処理の現場で求められる能力を抽出している。また、2011年東日本大震災以降、災害廃棄物処理の経験を共有し、知見や知識を習得することの重要性が認識され、災害廃棄物に関する研修が実施されてきている⁴⁵⁾。講義型での研修のみならず、参画型での創造的な学習の場づくりの必要性が示され、ワークショップ手法を用いた災害廃棄物研修について検討している^{46,47)}。三重県では、平成28年度から災害廃棄物処理における様々な課題を解決できる能力を有し、地域の指導的立場となる災害廃棄物処理スペシャリスト人材育成事業を実施している⁴⁸⁾。ここでは、座学のみならず、机上演習、図上演習、実施研修など体系的な研修プログラムとして継続的に実施しており、これまでに50名以上の人材を育成しており、2018年西日本豪雨災害での支援活動に活かされている。筆者は、東日本大震災での災害廃棄物処理に係る災害エスノグラフィを活用したワークショップ手法を開発し、奈良県、三重県、愛知県、沖縄県、愛媛県、福岡県、環境省東北地方環境事務所での災害廃棄物対策研修において実施してきている⁴⁹⁾。また、災害廃棄物処理計画や対応マニュアル、災害対応業務について机上演習的に確認、検証、見直しが可能となる、巨大地図と可搬型プロジェクションマッピングシステムを活用した災害廃棄物ワークショップ手法を試行実験的に実施している⁵⁰⁾。

以上のように、環境省を中心として、都道府県、市町村、各関係団体、民間事業者などさまざまなレベルにおいて、災害廃棄物対策の取り組みがなされてきている。

4. 南海トラフ巨大地震に向けた課題

4.1 南海トラフ巨大地震時の災害廃棄物

環境省では、南海トラフ巨大地震での災害廃棄物発生量は最大 34,900 万トンと推定している³⁵⁾。したがって、南海トラフ巨大地震時の災害廃棄物処理に必要となる災害対応リソースは膨大なものとなりうると推察できる。平山ら²⁾は、大規模災害時における家屋解体を伴うがれき処理に係る災害対応業務とそのリソースに着目し、災害対応リソースからみた災害廃棄物の処理目標期間について試算している。ここでは、これらの試算結果について述べる。

4.2 時間フェーズからみた災害廃棄物対応業務

図-4 に災害後の時間フェーズからみた災害廃棄物対応業務の概念図を示す。地震、津波や風水害、豪雨災害などの災害特性や被害状況によるところもあるが、道路啓開により生じる廃棄物、避難所ごみ、片付け等により生じる被災家財、被災家屋の解体に伴うがれきの処理、し尿処理についての事案処理が求められる。一般的に、災害廃棄物は、被災家屋の解体に伴い生じる災害廃棄物が多くを占める。道路啓開により生じる廃棄物、避難所ごみ、し尿の処理については、災害直後から対応することが求められる。すなわち、廃棄物部局や環境部局が、災害直後において担当業務がほとんどない、あるいは優先順位が低いのではなく、廃棄物部局が主たる担当部局として、道路部局、防災部局や支援の自衛隊等と連携して遂行すべき災害対応業務が発生しているのである。

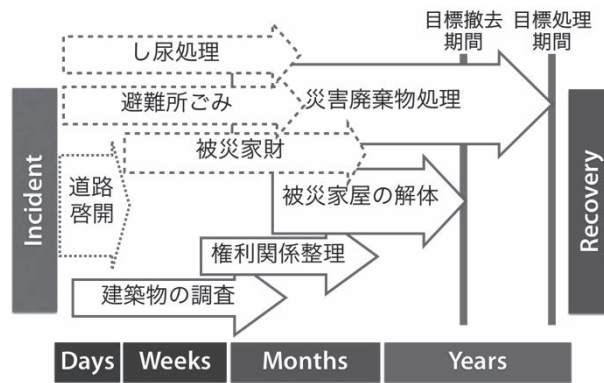


図-4 災害時間フェーズからみた災害廃棄物対応業務

次の時間フェーズでは、被災者による被災住家の片付けに伴い被災した家財が廃棄物として生じることとなる。これら被災家財の収集、運搬、分別、処理に関する処理業務を実施することが求められる。その後、被災家屋の解体に伴うがれき処理の対応となる。なお、1995年阪神・淡路大震災、2011年東日本大震災、2016年熊本地震、2018年7月西日本豪雨災害での倉敷市真備町においては、公費負担による倒壊家屋の解体撤去が実施されている。公費負担による倒壊家屋の解体撤去には、被災自治体発注、自衛隊、三者契約、精算などの方法がある⁵¹⁾。損壊した家屋等の解体・撤去においては、基本的には、倒壊家屋所有者の申し出に基づくものであり、原則として、り災証明書により「全壊」「大規模半壊」と判定された家屋となる⁵²⁾。したがって、被災家屋の解体においては、まず、被災建築物応急危険度判定、震災建築物の被災区分判定、災害に係る住家の被害認定、つまり、り災証明書の発行、という建築物の被災調査業務が必要となる。

り災証明書発行に係る対応業務においては、公費負担による家屋解体の申し出において、対象家屋等の現況写真等とともに対象家屋等の登記事項証明書が求められる。被災建物の解体撤去については、所有者の申し出、あるいは関係権利者の同意がないかぎり、行政の判断だけでは実施することができない⁵³⁾。このことから、被災家屋に係る権利関係整理という対応業務が必要となる。以上のことから、被災家屋解体に伴うがれき処理では、処理のみならず、建築物の被災調査、権利関係整理、被災家屋の解体という災害対応業務が

必要となる。

4.3 災害廃棄物処理と災害対応リソース

2011年東日本大震災では、多くの災害廃棄物処理業務が民間企業により業務遂行された。2016年熊本地震での仮置場での災害廃棄物処理業務についても、建設産業における共同企業体制度により実施された⁵⁴⁾。したがって、総合建設業者のリソースを災害廃棄物処理業務遂行に必要なリソースとみなし、既存の廃棄物処理施設における災害廃棄物等の処理可能量については取り扱わないものとする。また、ここでは、あくまでも災害廃棄物処理業務と災害対応リソースとの関連を明らかにすることが目的であることから、災害廃棄物量については、可燃、不燃、混合ごみ、コンクリートがら、金属等の種類別の量については取り扱わないものとする。

災害廃棄物処理業務に係る対応リソースを、総合建設業者の従業員とみなすと、災害廃棄物量 Q (t)、目標処理期間 T (年) と従業員数 E (人) は、次式によるモデルで記述できると仮定できる。

$$QC = pST \quad [1]$$

$$S = aE \quad [2]$$

ここに、 C ：災害廃棄物処理単価 (円/t)、 p ：総合建設業者における災害廃棄物処理業務割合 (-)、 S ：総合建設業者の年間売上高 (円/年)、 a ：総合建設業者従業員1人当たりの年間売上高 (円/年・人) である。

災害廃棄物処理単価 C について検討する。一般廃棄物処理実態調査結果⁵⁵⁾の処理状況の全体集計結果における災害ごみ処理状況ならびに災害経費について、2011年度から2016年度に災害廃棄物処理を実施した述べ128都道府県の災害廃棄物排出量と災害廃棄物処理事業経費(ごみ合計)の散布図を図-5に示す。2011年度から2016年度に災害廃棄物処理業務を実施した述べ128都道府県における災害廃棄物処理事業経費(ごみ合計)を従属変数、災害廃棄物排出量を説明変数として回帰分析を行った。また、東日本大震災での災害廃棄物処理を実施した2011年度から2013年度での71都道府県、2014年度から2016年度での57都道府県に対して回帰分析を行った。表-4にこれらの回帰分析結果を示す。回帰モデルの決定係数は、それぞれ $R^2 = 0.858$ ($n = 128, p < .001$)、 $R^2 = 0.867$ ($n = 71, p < .001$)、 $R^2 = 0.543$ ($n = 128, p < .001$) であった。これより、2011年度から2016年度の128都道府県、東日本大震災での災害廃棄物処理を実施した2011年度から2013年度の71都道府県による回帰モデルの説明力は十分であるといえる。2014年度から2016年度については、平成26年8月豪雨による広島市の土砂災害、2014年長野県神城断層地震、平成27年9月関東・東北豪雨災害、2016年熊本地震など、災害ハザードが大きく異なっていたことから、モデルの説明力が他のモデルと比較して小さくなったといえる。以上のことから、式[1]の左辺により、災害廃棄物処理事業費を推定することができ、災害廃棄物処理単価 C は33.8 (千円/t) と推定された。

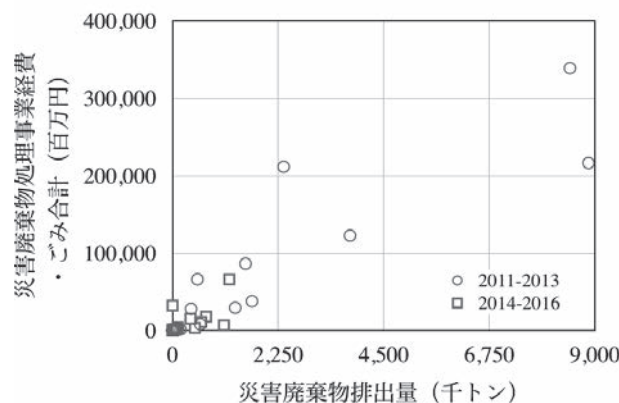


図-5 2011年度から2016年度の被災都道府県別の災害廃棄物量と処理事業費の散布図

表-4 災害廃棄物排出量と処理事業経費の回帰分析結果

分析データ	係数	標準誤差	t値	有意確率	95%信頼区間	
					下限	上限
128都道府県 (2011年～2016年)	33.792	1.218	27.737	0.000	31.381	36.203
71都道府県 (2011年～2013年)	33.896	1.588	21.349	0.000	30.729	37.062
57都道府県 (2014年～2016年)	29.093	3.563	8.165	0.000	21.955	36.231

次に、式[2]の総合建設業者の従業員数 E と年間売上高 S について検討する。我が国には土木・建築工事に係わる総合建設業は 287 社ある⁵⁶⁾。2011 年東日本大震災、2016 年熊本地震等の大規模災害時においては、総合建設業者が主体となって共同企業体として災害廃棄物処理事業を請け負い、実施している。株式会社には、各事業年度ごとに企業内容の外部への開示資料である有価証券報告書の金融庁への提出が義務づけられており、かつ、287 社の総合建設業のうち、株式会社の企業形態をとる 55 社が、売上高ベースで 64.3% を占めている。ここでは、外部への開示資料である有価証券報告書に基づき分析を行うものとし、我が国の総合建設業者のうち株式会社の企業形態をとる 55 社を対象とする。これらの総合建設業者 55 社の 2011 年度から 2016 年度までの有価証券報告書⁵⁷⁾に記載されている企業の概況の売上高、従業員数を対象とした。なお、連結経営による企業については、連結経営と提出会社の経営指標を取り扱うこととした。図-6 に、2011 年度から 2016 年度までの提出会社ならびに連結経営会社の従業員数と年間売上高との散布図を示す。これより、従業員数と年間売上高とは高い相関性があることがわかる。

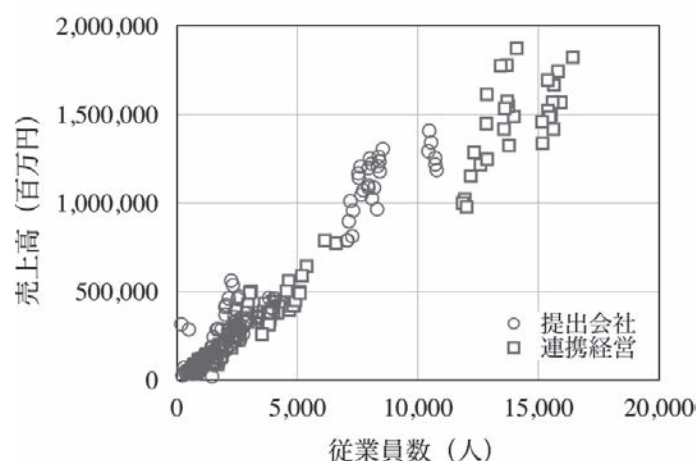


図-6 総合建設業者の 2011 年度から 2016 年度までの従業員数と年間売上高の散布図

総合建設業者の年間売上高 S を従属変数、従業員数 E を説明変数として、2011 年度～2016 年度までのすべてと各年度別に回帰分析を行った。なお、欠損データについては除外した。表-5 に提出会社の経営指標による回帰分析結果を、表-6 に連結経営指標による回帰分析結果を示す。表-7 にそれぞれの回帰モデルの決定係数を示す。これらより、すべての回帰モデルで決定係数が 0.96 以上となっており、モデルの説明力は十分であるといえる。したがって、総合建設業者の従業員数 E と年間売上高 S との関連については、総合建設業者における連結経営指標での従業員 1 人当たりの年間売上高は 103.8 百万円/年・人、提出会社の経営指標でのそれは 129.5 百万円/年・人と推定され、式[2]のモデル式で表現できるといえた。

表-5 総合建設業者（提出会社の経営指標）の年間売上高と従業員数の回帰分析結果

分析データ 提出会社	係数	標準誤差	t値	有意確率	95%信頼区間	
					下限	上限
2016年度	134.578	3.034	44.355	0.000	128.493	140.664
2015年度	140.139	3.501	40.033	0.000	133.046	147.232
2014年度	136.698	3.769	36.265	0.000	129.053	144.342
2013年度	127.518	3.988	31.973	0.000	119.422	135.615
2012年度	122.041	2.951	41.357	0.000	116.050	128.032
2011年度	116.079	2.66316	43.5869	0.000	110.672	121.485
2016年度～2011年度	129.525	1.454	89.079	0.000	126.661	132.389

表-6 総合建設業者（連結経営指標）の年間売上高と従業員数の回帰分析結果

分析データ 連結経営	係数	標準誤差	t値	有意確率	95%信頼区間	
					下限	上限
2016年度	107.734	1.981	54.393	0.000	103.76	111.709
2015年度	111.934	1.849	60.547	0.000	108.181	115.687
2014年度	109.226	2.269	48.148	0.000	104.616	113.836
2013年度	103.140	2.226	46.324	0.000	98.615	107.665
2012年度	97.238	1.792	54.250	0.000	93.599	100.877
2011年度	91.884	1.309	70.209	0.000	89.227	94.541
2016年度～2011年度	103.774	0.909	114.168	0.000	101.983	105.565

表-7 年間売上高と従業員数の回帰モデルの決定係数

	提出会社			連結経営		
	係数	N	R ²	係数	N	R ²
2016年度	134.578	54	0.974	107.734	53	0.983
2015年度	140.139	38	0.977	111.934	36	0.991
2014年度	136.698	37	0.973	109.226	35	0.986
2013年度	127.518	36	0.967	103.140	35	0.984
2012年度	122.041	36	0.979	97.238	36	0.988
2011年度	116.079	36	0.982	91.884	36	0.993
2016年度～2011年度	129.525	237	0.971	103.774	231	0.983

総合建設業者 55 社における災害廃棄物処理業務割合 p について検討する。2011 年度から 2016 年度までの各年での連携経営での全 55 社の売上高合計、提出会社での全 55 社の売上高合計と各年での災害廃棄物処理事業経費（ごみ合計）の年間合計より、災害廃棄物処理業務割合を算出した。図-7 に災害廃棄物処理事業経費の総合建設業者の売上高に占める割合の推移を示す。これより、東日本大震災による災害廃棄物処理業務を実施していた 2011 年から 2013 年では、2014 年以降よりもその割合が大きくなっている。2011 年から 2013 年の期間では、提出会社ベースで平均 3.8%、最大 4.8%であり、連結経営ベースでは平均 3.2%、最大 3.9%であり、2014 年から 2016 年の期間と比較して約 8.4 倍となっている。すなわち、2011 年東日本大震災によって生じた災害廃棄物処理業務を実施するために、総合建設業者においては、通常の約 8 倍のリソースを災害廃棄物処理業務に割り当てていたと推察できよう。

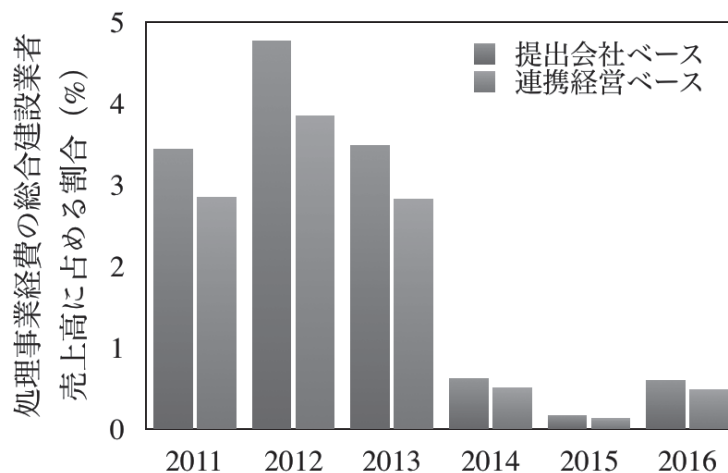


図-7 災害廃棄物処理事業経費の総合建設業者の売上高に占める割合の推移

4.4 想定南海トラフ巨大地震時におけるケーススタディ

想定南海トラフ巨大地震時の災害廃棄物処理業務に係る災害対応リソースの視点から、目標処理期間について検討した。ここでは、被害想定として、内閣府中央防災会議⁵⁸⁾、環境省⁵⁹⁾の試算結果を用いた。

被災家屋解体に伴うがれきの処理では、災害廃棄物 1t 当たりの処理単価 C が 33.8 千円であることから、南海トラフ巨大地震での災害廃棄物処理事業経費は、内閣府想定で最大 10.478 兆円、環境省想定で最大 11.796 兆円となる。我が国の総合建設業者の従業員数 E は、2016 年度末で、連結経営 149,815 名、提出会社 100,827 名であることから、我が国の総合建設業の年間売上高は提出会社ベースで 13.057 兆円、連結経営ベースで 15.551 兆円と算出される。南海トラフ巨大地震時における災害廃棄物処理事業経費の総合建設業者の売上高に占める割合を、提出会社ベースで 4.8%、連結経営ベースでは 3.9%とした場合、式[1]より、目標処理期間は、内閣府想定で最大ケースで 16.72 年～17.28 年、環境省想定で最大ケースで 18.82 年～19.46 年と算出された。内閣府の想定における最小ケースでは 5.39 年～5.57 年と算出された。表-8 に南海トラフ巨大地震時の災害廃棄物の目標処理期間の算出結果を示す。

表-8 南海トラフ巨大地震時の災害廃棄物の目標処理企画算定結果

地震動ケース	災害廃棄物 (万トン)	津波堆積物 (万トン)	災害廃棄物量 (万トン)	処理事業経費 (億円)	目標処理期間 (年)	
					上段：提出	下段：連結
【内閣府想定】東海地方が大きく被災するケース：地震動ケース（陸側），津波ケース①，冬夕方，風速8m/s	25,000	5,900	31,000	104,780	16.72	17.28
					5.93	6.13
【内閣府想定】四国地方が大きく被災するケース：地震動ケース（基本），津波ケース④，冬深夜，平均風速	8,600	2,400	11,000	37,180	18.82	19.46
					15.80	16.33
【環境省想定】東海地方（駿河湾-紀伊半島沖），冬夕方，風速8m/s	32,200	2,700	34,900	117,962	15.80	16.33
					15.80	16.33
【環境省想定】四国地方（四国沖），冬深夜，平均風速	26,900	2,400	29,300	99,034	15.80	16.33
					15.80	16.33

本稿で示した手法により 2011 年東日本大震災での目標処理期間を算出すると、提出会社ベースで 1.67 年、連結経営ベースで 1.73 年となる。災害廃棄物処理業務割合 p を 2011 年度から 2013 年度の処理期間の平均値を用いると、提出会社ベースで 2.06 年、連結経営ベースで 2.12 年となる。岩手県、宮城県では、2011 年 10 月頃より処理施設を順次設置し、2014 年 3 月末で処理完了しており、処理期間は 2.5 年であった⁶⁰⁾ことから、本稿で提案した手法は妥当であると考えられる。

以上のことから、南海トラフ巨大地震での災害廃棄物処理は、災害廃棄物処理に係る災害対応リソースからみた場合、内閣府想定における最小ケースにおいても目標処理期間は約 6 年、内閣府想定、環境省想定最大のケースでは目標処理期間が約 20 年となることから、想定されている南海トラフ巨大地震における災害廃棄物処理業務を遂行するための災害対応リソースが全く足りておらず、災害廃棄物処理が復旧・復興の阻害要因となり、国難となるといえる。なお、ここでの目標処理期間はあくまでも総合建設業者からみた災害対応リソースの制約条件下で算出したものであり、処理期間の推定とは異なるものである。また、共同企業体の中心となる株式会社の形態をとる総合建設業者のみを用いて災害廃棄物処理の目標期間について検討していることから、その下請け業者や実際の人員や機材などの対応リソースが確保できない場合には、その目標期間が達成できないことにも留意しておくことが必要である。

南海トラフ巨大地震の国難を克服するためには、徹底的な災害廃棄物の減量を進めることが必要不可欠である。すなわち、住宅の耐震化のさらなる促進や住家の建て替えに伴う津波浸水想定地域からの移転、津波浸水想定地域内での建築・増改築制限などの対応が必要である。住宅の耐震化促進は、一般的には、防災・危機管理部局や建設・住宅・都市計画部局が所掌する業務である。災害後の道路啓開については、道路・土木部局や国土交通省地方整備局、自衛隊が所掌する災害対応業務である。また、建築物の調査は、防災・危機管理部局や建設・住宅・都市計画部局が所掌する業務であり、権利関係調整は、総務部局、防災・危機管理部局、会計部局が所掌する対応業務である。このようにさまざまな部局に跨がる災害廃棄物処理に係る災害対応業務を迅速、円滑かつ確実に実施するためには、部局間の連携がより重要となる。すなわち、平時においては、調整のための場作り、演習・訓練や人材確保・育成、関係者のネットワークづくりを、災害時には災害廃棄物処理に係る調整、被災地ニーズと災害対応リソースとのマッチングを可能とする場、たとえば、災害廃棄物処理に関する総合調整アゴラ⁶¹⁾などの構築が必要不可欠である。そこでは、将来の超高齢化・人口減少社会においても、限られた災害対応リソースをどのように確保するのか、減らさないのかについても検討しておくことが求められる。

5. おわりに

本稿では、災害廃棄物に関する最新の知見、2011 年東日本大震災以降の対策、ならびに今後の巨大災害に向けた課題について論述した。近年は自然災害が頻発しており、かつ、高度成長期の都市の発展過程において災害に脆弱な地域に都市が拡張されてきていることを鑑みると、災害廃棄物対策においては、災害廃棄物の減量が最も重要であるといえる。すなわち、住宅の耐震改修や建て替え等の住宅耐震化の促進、津波や水害の想定浸水域の浸水対策や住宅の建て替えに伴う高台移転等、産官学民連携による徹底的な災害廃棄物量の減量や事前防災投資や事前対策による社会の活力向上が、これからの災害による国難を克服するためには必要不可欠であるといえよう。

参考文献

- 1) 多島良, 平山修久, 高田光康, 宗清生, 大迫政浩: 災害対応マネジメントの観点からみた災害廃棄物発生量推計方法の現状と展望, 廃棄物資源循環学会論文誌, **29**, 104-118, 2018.
- 2) 平山修久, 永田尚人, 上村俊一, 河田恵昭: 南海トラフ巨大地震時における災害廃棄物処理に係る災害対応リソース, 地域安全学会論文集, **33**, 157-164, 2018.

- 3) 平山修久, 河田恵昭: 水害時における行政の初動対応からみた災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究, 環境システム研究論文集, **33**, 29-36, 2005.
- 4) 築谷尚嗣: 豪雨災害により発生する廃棄物の処理, 島岡隆行, 山本耕平編: 廃棄物資源循環学会シリーズ災害廃棄物, 68-87, 2009.
- 5) 田中宏和, 田中博義, 橋治廣: 福井県豪雨災害における水害廃棄物への対応について, 都市清掃, **60**(277), 20-26, 2007.
- 6) 鶴巻峰夫, 山本祐吾, 吉田登: 地域の資材ストック量に基づく災害廃棄物量の予測に関する基礎的検討, 土木学会論文集 G (環境), **71**(6), II_241-II_251, 2015.
- 7) 平山修久: 近年の水害における災害対応および水害廃棄物発生量の推定: 水環境学会誌, **30**(5), 22-26, 2007.
- 8) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課: 水害廃棄物対策指針, 2005.
- 9) 平山修久, 河田恵昭, 奥村与志弘: 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, **23**(1), 3-9, 2012.
- 10) 平山修久, 大迫政浩: 東日本大震災の経験を踏まえた災害廃棄物の発生量原単位の推定, 環境衛生工学研究, **28**(3), 139-142, 2014.
- 11) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部: 災害廃棄物対策指針, 2014.
- 12) 山中稔, 豊田尚也, 野々村敦子, 長谷川修一: 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, **33** (特別号), 185-196, 2014.
- 13) 山中稔, 豊田尚也, 野々村敦子, 長谷川修一: 東南海・南海地震による四国核都市の津波災害廃棄物発生量の推定, 材料, **63**(2), 131-136, 2014.
- 14) 鶴房佑樹, 森口祐一, 中谷隼: 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, **70**(6), pp.II_23-II_32, 2014.
- 15) 田畑智博, 張欧, 山中優奈, 蔡佩宜: 統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用, 土木学会論文集 G (環境), **71**(6), pp.II_441-II_449, 2015.
- 16) 高月紘, 酒井伸一, 水谷聡: 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, **6**(5), 351-359, 1995.
- 17) 橋本征二, 寺島泰: 建築物解体廃棄物の原単位設定, 廃棄物学会論文誌, **10**(1), 35-44, 1999.
- 18) 環境省: 技術・システム検討ワーキンググループの検討について, 第2回平成28年度災害廃棄物対策推進検討会資料, 2017.
- 19) 長岡耕平, 谷川寛樹, 橋本征二: 全国の都道府県における地下と地上のマテリアルストックに関する研究, 第36回環境システム研究論文発表会講演集, 303-308, 2008.
- 20) 谷川寛樹, 平川隆之, 韓驥, 鬼頭祐介, 田中健介, 黒岩史, 奥岡桂次郎: 東日本大震災の被災地域に存在した建築物・インフラストラクチャーの物質ストックの推計, 第39回環境システム研究発表会講演集, 401-406, 2011.
- 21) Nagahisa Hirayama, Takayuki Shimaoka, Takeshi Fujiwara, Tomoko Okayama, and Yoshiaki Kawata: Implementation of Intelligence of Flood Disaster Debris Discharge for Emergency Response, Risk Analysis VII, WIT Transactions on Information and Communication Technologies, 43, 681-692, 2010.
- 22) 大西暁生: 鬼怒川の浸水想定区域を対象とした水害廃棄物発生量の推計に関する基礎的研究: 浸水被害建築物のみの視点から, 計画行政, **39**(4), 33-44, 2016.
- 23) 国土交通省河川局: 治水経済マニュアル (案), 106p, 2005.
- 24) 梶友樹, 古市徹, 翁御棋, 石井一英, 金相烈: 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, 65-70, 2012.

- 25) 藤原健史, 中村彰太: 地図情報を用いた災害廃棄物の発生量予測と収集輸送計画, 環境システム計測制御学会誌, **17**(4), 58-66, 2013.
- 26) 平川隆行, 黒岩史, 鬼頭祐介, 田中健介, 谷川寛樹: 東日本大震災により失った建設ストックの推計, 日本LCA学会誌, **7**(4), 374-378, 2011.
- 27) 津田毅: 広域支援からみた『災害廃棄物処理計画』のあり方, 廃棄物資源循環学会誌, **24**(6), 449-455, 2013.
- 28) 兵庫県生活文化部環境局: 阪神・淡路大震災における災害廃棄物処理について, 1997.
- 29) 平山修久, 伊藤悠一郎, 中村晋一郎: 平成30年7月豪雨による岡山県倉敷市真備町の災害廃棄物(速報値)の推定, 日本災害情報学会第20回学会大会予稿集, 18-19, 2018.
- 30) 平山修久, 大迫政浩, 林春男: 災害初動期における災害廃棄物量の把握システムの構築-2016年熊本地震でのケーススタディによる-(査読付), 地域安全学会論文集, **30**, 2016-069; 1-7, 2017.
- 31) 環境省: 災害廃棄物発生量の推計精度向上のための方策検討, 2018.
- 32) 白田裕一郎: リアルタイム被害推定システム及び府省庁連携防災情報共有システム「SIP4D」と今後の展開, SIP防災シンポジウム2017, 2017.
- 33) 一般財団法人日本環境衛生センター: 大規模災害に備える災害廃棄物対策強化の要点-解説・廃棄物処理法・災害対策基本法の一部改正-平成27年, 107p., 2016.
- 34) 環境省: 災害廃棄物対策指針技術資料, 参考資料 平成26年3月, 2014.
- 35) 環境省: 巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて中間とりまとめ, 2014.
- 36) 環境省: 大規模災害発生時における災害廃棄物対策行動指針案, 2016.
- 37) 環境省: 廃棄物の処理及び清掃に関する法律及び災害対策基本法の一部を改正する法律の概要, 環境省災害廃棄物対策情報サイト, http://kouikishori.env.go.jp/guidance/reform_bill/, 2019年6月30日アクセス.
- 38) 切川卓也: 災害廃棄物対策に関する今後の取り組み, 生活と環境, **62**(7), 4-9, 2017.
- 39) 環境省: D.Waste-Net, 環境省災害廃棄物対策情報サイト, http://kouikishori.env.go.jp/action/d_waste_net/, 2019年6月30日アクセス.
- 40) 太田智大, 平山修久: ワークショップ手法を用いた災害廃棄物処理タイムラインの検討, 環境衛生工学研究, **33**(3), 2019(印刷中).
- 41) 松島夕佳子, 上田淳也, 山口侑也, 平山修久, 水原健介: 地図を用いた大規模災害時の廃棄物処理広域連携に向けた机上演習手法の開発, 第40回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集, 383-385, 2019.
- 42) 西川絢子, 鈴木信: モデル事業を通じた自治体の災害廃棄物対策の推進に向けて, 生活を環境, **63**(11), 4-7, 2018.
- 43) 環境省環境再生・資源循環局: 災害廃棄物対策指針(改定版), 2018.
- 44) 森朋子, 田中勝, 夏目吉行, 大迫政浩, 平山修久, 高田光康, 多島良, 松崎裕司, 大塚康治: 災害廃棄物処理に関する知見の共有と今後に向けた人材育成, 都市清掃, **67**(318), 187-192, 2014.
- 45) 国立環境研究所: 人材育成・研修の実践, 災害廃棄物情報プラットフォーム, <https://dwasteinfo.nies.go.jp/cd/index.html>, 2018年9月28日アクセス.
- 46) 森朋子, 多島良, 高田光康, 平山修久, 大迫政浩: 災害廃棄物分野における人材育成のあり方に関する一考察, 環境衛生工学研究, **28**(3), 143-146, 2014.
- 47) 森朋子, 夏目吉行, 高田光康, 平山修久, 多島良, 川畑隆常, 大迫政浩: 災害廃棄物分野における研修の特徴を踏まえたワークショップの設計に関する考察, 第26回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集2015, 147-148, 2015.
- 48) 近藤義大, 中川隆司: 三重県における災害廃棄物処理体制の強靱化に係る取組について, 第29回廃棄物

資源循環学会研究発表会講演原稿 2018, 145-146, 2018.

- 49) 平山修久：災害対応における人材育成事業の重要性，生活と環境，**63**(11)，8-14，2018.
- 50) 平山修久，太田智大，永田尚人，葛畑秀亮，吉識郷，福和伸夫，河田恵昭：巨大地図を用いた災害廃棄物ワークショップ手法の検討，第30回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集 2019, 2019 (印刷中).
- 51) 神戸市：阪神・淡路大震災－神戸市の記録 1995年－，1996.
- 52) 仙台市環境局震災廃棄物対策室：損壊した家屋等の解体・撤去 平成23年5月17日，2011.
- 53) 神戸市環境局：災害廃棄物処理事業業務報告書，都市政策，**93**，1998.
- 54) 熊本県環境生活部循環社会推進課：災害廃棄物の処理状況及び損壊家屋等の公費解体の状況（平成30年4月13日発表），2018.
- 55) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果，http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/index.html，2018年5月4日アクセス.
- 56) 配管システム研究会：ゼネコンにおける土木・建築工事完工高（2017年下期調査），月刊コア，**345**，60-66，2018.
- 57) 金融庁：金融商品取引法に基づく有価証券報告書等の開示書類に関する電子開示システム，<http://disclosure.edinet-fsa.go.jp>，2018年2月15日アクセス.
- 58) 内閣府中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）～施設等の被害【定量的な被害量】～，2013.
- 59) 環境省：災害廃棄物等の発生量の推計，災害廃棄物（避難所ごみ，し尿を除く）の推計方法，1-11-1-1，2014.
- 60) 環境省廃棄物・リサイクル対策部：東日本大震災における災害廃棄物処理について（避難区域を除く），災害廃棄物処理計画と進捗表・工程表，http://kouikishori.env.go.jp/archive/h23_shinsai/implementation/table/，2018年8月10日アクセス.
- 61) 日本プロジェクト産業協議会防災委員会：首都直下地震における災害廃棄物処理のあり方について提言書，2017.