

災害廃棄物処理の現状と課題 —国内外の事例・研究のレビュー—

福田将司¹・梶谷義雄¹・岡崎慎一郎¹・末永慶寛¹

Current Status and Issues of Disaster Waste Disposal: A Review of Domestic and International Case Studies

Syoji FUKUDA¹, Yoshio KAJITANI¹, Shinichirou OKAZAKI¹
and Yoshihiro SUENAGA¹

Abstract

The management of disaster waste serves not only as a catalyst for rapid recovery, but also fulfills critical functions in mitigating environmental impacts, promoting resource circularity, and revitalizing local economies. This study conducts a comprehensive review of 137 domestic and international publications across eight key dimensions such as: waste volume estimation, processing speed, recycling technologies, legal and institutional frameworks, policy mechanisms, and community engagement. The review identifies prevailing challenges and outlines future directions for effective disaster waste management. Noteworthy technologies and exemplary practices were highlighted, including AI-driven waste classification systems, current cost structures and the utility of risk financing through dedicated funds, and enhanced recycling rates facilitated by community participation. Where available, quantitative data were employed to assess the effectiveness of these measures. Moreover, the study underscores the need for further empirical research and practical implementation, particularly in underexplored areas such as the optimization of waste management through inter-organizational networks.

キーワード：災害廃棄物，再利用，環境負荷，地域社会，循環型社会

Key words: Disaster Waste, Reuse, Environmental Impact, Local Community, Circular Society

1. はじめに

災害により発生する廃棄物は、被災地の環境、経済、社会に深刻な影響を与え、復旧・復興の大

きな障害となってきた。例えば、2011年東日本大震災では、2,200万トン以上の災害廃棄物が発生し、これは当時の日本全国の年間廃棄物量の約2年分

¹ 香川大学大学院創発科学研究科
Graduate School of Science for Creative Emergence,
Kagawa University

に相当する¹⁾。このような膨大な災害廃棄物の処理は被災自治体のみでは対応できず、全国174自治体に委託した広域処理をもってしても、最終処分までに約3年を要した²⁾。近年は地球温暖化の影響で台風や集中豪雨などの風水害が激甚化し、災害廃棄物の発生量は増大傾向にある。例えば、2018年の西日本豪雨では広島市で約58万トンの廃棄物が発生し、地域の廃棄物管理能力を大幅に超過した³⁾。

災害時の廃棄物処理は、焼却などに伴うCO₂排出量増加や、最終処分場の容量逼迫といった新たな環境・社会的負荷も引き起こす。東日本大震災では約250万トンの廃棄物を焼却した結果、約200万トンのCO₂が排出されたとされている¹⁾。こうした環境負荷は復興の過程で見落とされがちだが、将来に向けたより持続可能な地域再生を実現するには、その軽減のための努力が不可欠である。

災害廃棄物の再利用に関しては、環境省¹⁾をはじめとする各種ガイドラインが整備されており、東日本大震災時の企業対応の事例など、有用な経験が蓄積されている。例えば、岩手県では大規模セメント工場を中心に災害廃棄物の83%、津波堆積物の100%をリサイクルすることに成功している。また、仙台市においても地元業界団体と連携した処理が行われ、効率的な対応が実施された^{4,5)}。しかし、これらの取り組みは主に災害発生後の応急的な対応が多く、災害発生後に考案された災害廃棄物処理の各自治体で実際に導入された仕組みなどがその他の地域に活かされていない問題がある。

以上のように、災害廃棄物の処分だけではなく、資源の有効活用や、環境負荷の低減、多角的な視点かつ多様な主体の協力による対応は大きな課題となってきた。特に、循環型社会の構築に向けた取り組みが加速する中で、災害廃棄物の再利用促進は重要な課題として位置づけられる。また、被災地では復旧・復興のための資源が不足することが多く、速やかな災害廃棄物の再利用によるインフラ復旧への活用が有効となる。しかしながら、このような多方面にあたる災害廃棄物の問題について、個別の事例や研究蓄積は進んでいるものの、

包括的な整理は十分に行われているとはいえない。

そこで本研究では、災害廃棄物処理に関する国内外の研究・実務動向をレビューし、既往災害の対応事例に基づいて実務的・制度的課題を抽出するとともに、それらに対する研究的アプローチの現状と今後の展望を示すことを目的とする。なお、本研究では、過去の主要なレビュー研究との差異を明確にするため、Brownら⁶⁾およびZhangら⁷⁾を参照する。Brownらは、災害廃棄物の発生量推計や技術的処理に焦点を当てており、制度設計や災害対応実務に関する検討は限定的であった。Zhangらは、Scopus収録の英語文献を対象に、2011年以降の研究動向を9分類で整理し、包括的なレビューを試みているが、著者ら自身が「多くのギャップは依然として解消されていない」と述べており、特に制度間比較、社会的文脈、実務現場との連携に関しては分析が不十分であることが指摘されている。本研究では、日本を含む複数国・地域の制度・政策・実務を対象に、英語文献に加えて日本語文献や行政資料も含めた分析を行っており、既往のレビューでは取り上げられてこなかった国内の災害経験や制度運用の実態も反映している。特に、災害廃棄物処理における課題構造を多角的に整理するため、著者らは8つの観点から文献レビューを実施し、実務的・政策的課題を抽出した。これにより、Zhangらの分類を踏まえつつ、それでは十分に補足されていなかった制度・運用の観点を補完し、今後の災害廃棄物処理の制度設計や国際比較に資する知見を導出している。この際、がれき発生量の推計、処理コスト、環境負荷分析、リサイクル技術の進展状況などに焦点をあて、技術の現状について包括的な調査を実施する。また、技術、コスト、環境負荷だけではなく、効率的な災害廃棄物再利用促進体制にも焦点を当て、企業間連携や市民参加、政策・制度分析等の今後の研究の方向性について考察する。

2. 災害廃棄物に関する既往研究のレビュー

2.1 文献調査の方法

本研究では、災害廃棄物に関する既往研究の現状と課題を明らかにするため、J-STAGE、Scopus

および Google Scholar の 3 つのデータベースを用いて文献検索を実施した。和文用としては、「災害廃棄物」「がれき」「廃棄物処理」「リサイクル」、英文用としては「Disaster Waste」「Disaster Debris」「Recycle」「Sustainable Management」を検索語に設定し、AND・OR の論理演算子を適宜用いた。検索対象は論文タイトル・抄録・本文のいずれかに該当キーワードを含むものとし、検索実施日は2024年10月～2025年2月である。対象とした文献は、査読付き学術論文、国際会議論文、学会誌掲載記事を中心とした。検索により抽出された文献のうち、内容が災害廃棄物の実態把握・処理・政策制度・環境影響・産業連携等に一定以上言及していると筆者が判断したものをレビュー対象とした。選定にあたっては、抄録および本文全体を確認し、災害廃棄物処理に関する記述が本文の3割以上を占めているものを中心に採用した。さらに、抽出された文献を著者で精読し、主観的に8つの評価指標に分類した。このように分類の透明性と再現性を確保することに努めたが、筆者による主観的な判断が含まれている点は今後の課題として認識している。例えば、キーワードのみを用いたシンプルな分類や言語処理プログラムなどを用いたより客観的な分類についても検討する必要がある。結果として、合計137件（和文：100件、英文：37件）について文献情報の整理を行った。

2.2 論文の整理方法

本研究では、以下で述べる災害廃棄物に関する8つの視点を設定し、収集した文献の整理と分析を行った。具体的には、発生量推計方法、処理速度、再利用方法、廃棄物処理方式、環境影響評価、地域社会と市民参加、政策・制度、関連産業と企業間ネットワークの各観点から、各文献の内容や手法、結果を比較検討することとした。本研究で設定した8つの評価指標は、既往のレビュー研究における分類枠組みで Zhang ら⁷⁾が示した9分類を基礎にしつつ、実際に精読した137件の文献から抽出された主要な論点やキーワードをもとに再編成したものである。具体的には、Scopus およ

び J-STAGE のデータベースで収集・精読した文献の中で繰り返し言及されていた主題（処理速度、再利用方法、環境影響評価、制度的課題）を軸に、技術面・制度面・社会面のバランスを考慮しながら分類項目を検討した。さらに、2025年3月に実施した検討会において、福田（廃棄物処理の実務）、梶谷（災害、社会経済影響）、岡崎（コンクリート、資源再利用）、末永（流体、環境）が各専門の観点から災害廃棄物処理の一連の課題についてブレインストーミングを行うことにより、策定したものである。なお、この検討時点において、既に文献レビューはほぼ終了しており、各文献の論点を踏まえながら、分類項目の網羅性のチェックを行った。

オーバーラップする概念も多く含んでいる。例えば、処理速度は再利用方法にも大きく関係する問題であるが、再利用に関係なく処分の迅速化に貢献したような事例を中心に分類を行っている。また、処理方式と処理速度にも密接な関係があるが、処理速度には処理能力向上等の工学的、技術的な問題を、処理方式には自治体間連携や処理のコンセプトを含めた実災害事例を中心に分類を行った。評価指標の概要と対応する文献番号を表形式でまとめたものが表1となる。

表1より、「処理速度」「廃棄物処理方式」「政策・制度」がそれぞれ47件、56件、63件の文献で取り上げられており、関心の高い内容になっていることが分かる。一方、「環境影響評価」「関連産業と企業間ネットワーク」がそれぞれ22件、34件であり、取り扱っている文献は少なく、特に「企業間ネットワーク」を形成することで災害廃棄物処理を効率的に行った事例や提案が少ない。また、「環境影響評価」は海外文献の割合が高く、国内で十分な議論が行われていない可能性がある。

図1は、収集した論文を時系列で整理したものである。1995年に発表された日本の初期の研究例では越波による舗装破壊機構に関する内容であり⁸⁾、現在の家庭ごみを含めた災害廃棄物全般に関する研究とはやや異なる。1998年に発表された海外事例は、仮設処理施設の設置と資源循環を含む建設廃棄物管理についてであり、こちらは現在

表1 各評価指標と参考文献

評価指標	概要	文献（海外文献は太文字）
発生量推計方法	災害廃棄物の発生量推計事例、推計方法に関する研究	1-4, 6-9, 17, 19-21, 27, 39, 44, 48, 64, 72, 80, 86, 88, 92-93, 99, 102, 104, 108-109, 111-112, 115, 118, 123-125, 128, 131, 134, 136
処理速度	災害廃棄物処理の迅速化実績と課題に関する研究	1-4, 6, 15-18, 21-23, 26-27, 36-38, 48-49, 52, 55, 56-57, 59, 60, 72, 75-79, 83-84, 91-93, 101, 105, 108, 110-112, 117, 120, 126, 129, 134
再利用方法	災害廃棄物再利用技術の応用事例とその効果評価	4, 7, 13, 21-22, 24-27, 33-34, 41-42, 48, 51, 55, 60, 66, 70, 80-81, 93, 95, 100-101, 104, 106, 114-116, 127, 129-131
廃棄物処理方式	多様な処理方式と最適化処分技術の体系的検討	2-4, 7, 9, 22, 31-34, 36, 39, 48, 50, 53-54, 57-59, 63, 71, 75, 80-81, 84-87, 90-94, 98, 100-102, 105, 107-111, 114-115, 117, 121-126, 130, 132, 136-137
環境影響評価	CO ₂ 排出量評価と環境負荷低減策の検証	9, 28, 30, 36-39, 48, 55, 103, 105, 108-109, 114-115, 119, 124, 129, 132, 134-136
地域社会と市民参加	保管場所や廃棄物が地域社会に与える長期影響	28, 33, 35, 41-44, 48, 53, 55, 57, 61, 63, 69-71, 74-75, 82-84, 93, 95-96, 102-106, 108, 111, 114-119, 121-123, 125-126, 130-131, 133, 135
政策・制度	現行制度の課題と新たな政策提案の可能性評価	3-4, 7, 10, 14, 18, 27, 29, 33-34, 38, 48-49, 50-53, 55, 57, 60, 63, 68, 70, 72-76, 78-82, 85, 88, 95-102, 105-109, 111, 113-118, 120-122, 125-128, 131, 135, 137
関連産業と企業間ネットワーク	リサイクル産業と連携企業の経済効果分析や企業間ネットワーク形成の事例分析	25-26, 29, 33, 35, 44-47, 52-54, 62, 66, 71-77, 84, 97, 99, 100, 124, 134（うち、企業間ネットワークに触れている文献：20, 58, 106, 113, 118, 121, 125）

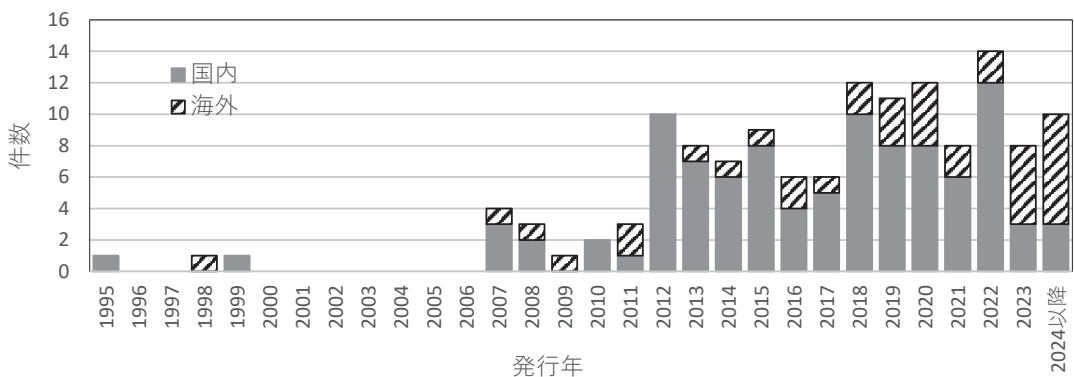


図1 年別の参考文献

に至るまでの主要な研究課題である⁹⁾。災害廃棄物に関する文献数（学術論文、技術報告、行政資料等を含む）は、2011年の東日本大震災以降増加傾向にある。近年、特に2022年に論文数が増加しているのは、災害の増加、過去災害の教訓や将来災害への備え、新技術への関心の高まりを反映しているものと考えられる。

図2は、各評価指標の国内外文献数を示しており、研究の進展や実務的な事例の蓄積によって発生している関心領域と、未開拓領域を把握し、今後の研究方向性を検討するうえで有益な視点を提供している。図2より、処理速度・廃棄物処理方式・政策制度に関する研究が多く、関心の高い

テーマであることが分かる。一方で、環境影響評価および関連産業・企業間ネットワークに関する研究は相対的に少なく、今後の研究の充実が求められる領域であるといえる。特に、企業間連携による処理効率の向上や、CO₂ 排出量以外の環境影響に関する定量的評価手法の確立は、実務的にも重要な課題である。

3. 各評価項目別のレビュー結果のまとめ

本章では、図2で示した8つの評価指標ごとに文献を整理し、研究の傾向や特徴について記述する。ただし、各評価項目に該当するすべての文献を詳細に分析することは本稿の範囲を超えるため、

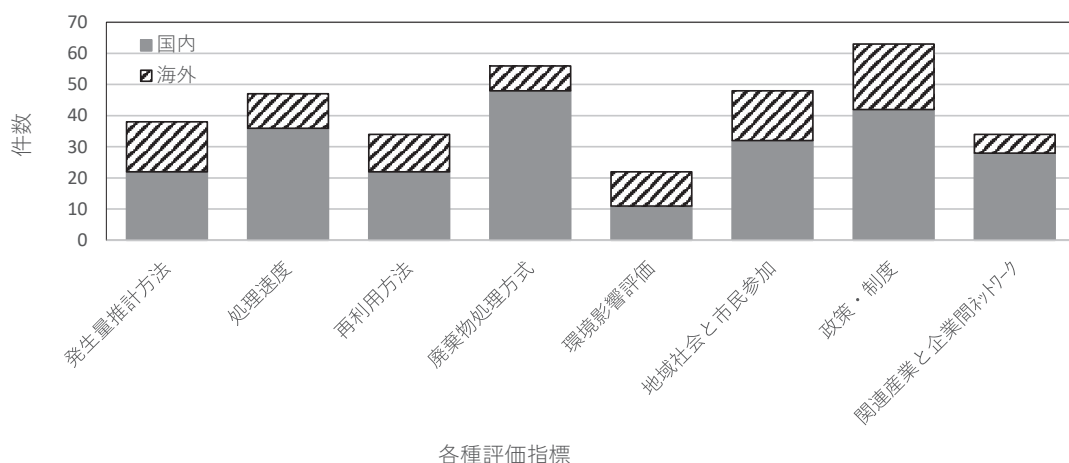


図2 評価指標別の参考文献

代表的・特徴的な文献を抽出し、傾向を示すにとどまる。したがって、本章の記述は探索的レビューとしての位置づけを有し、網羅的・定量的分析は今後の課題としたい。

3.1 発生量推計方法

災害廃棄物の発生量を正確に推計することは、処理計画の策定や処理能力の確保、環境影響評価など、様々な面で重要となる。既存研究の動向としては地震、津波、水害等を対象に、建物被害推定に基づき、がれきや家庭ごみの発生量推計方法を提案するものが多く見られる。平山ら¹⁰⁾は、首都圏大規模水害時の水害廃棄物発生量の推定手法を検討し、浸水継続時間を考慮することで推定精度が向上することを示している。小島ら¹¹⁾は、南海トラフ地震により生じる津波災害廃棄物量のリスク評価を行い、津波浸水深と建物被害の関係から廃棄物発生量を推計している。中尾ら^{12,13)}は、市町村別での災害廃棄物発生原単位の整備に関する研究を行い、南海トラフ地震防災対策推進地域および特別強化地域を対象に、より精度の高い廃棄物量推計手法を提案している。また海外ではAIと画像解析を活用し発生量を比較的高精度に推計する手法が開発されている¹⁶⁻¹⁸⁾。

加えて、2011年以降に多発している水害(例：2018年西日本豪雨、2019年東日本豪雨、令和2年

7月豪雨)に伴う災害廃棄物の発生特性や推計手法に関する研究も今後さらに重要となる。現在のところ、首都圏水害を対象とした平山ら⁸⁾の研究や、津波災害を含めた発生量推計研究はあるものの、水害特有の堆積物や流木等の処理課題が定量的に分析されたような研究は限られており、今後の重要な検討課題となっている。なお、災害廃棄物の発生量推計に関する体系的整理としては、多島ら¹⁴⁾による国内研究のレビューがある。

特に本研究では、災害対応マネジメントの視点から、23の異なる推計手法を災害フェーズ別・データ種別・原単位別に整理し、推計値のばらつきや現場運用上の留意点を明らかにしている。一方、Marchesiniら¹⁵⁾は国際的な文献レビューを通じ、被害面積、建物被害、衛星画像解析等の技術的推計手法を分類し、技術の進展や将来課題を提示している。本稿ではこれらのレビュー成果を踏まえた上で、推計手法に加えて、制度・政策・社会受容性といった周辺環境との関係性や、国・地域間での違いを含めて統合的に位置づけることを試みている。

基本的に、廃棄物量推計分野の研究では、建物被害に基づく推計などがあるが、災害の種類や規模、地域特性によって廃棄物の発生量は大きく異なる。より精度の高い推計を行うためには、以下の点が課題として挙げられる。

- ・災害の種類・規模に応じた推計モデルの開発：

発災形態に応じた推計モデルの整備は、的確な初動対応に直結する。申山ら¹⁹⁾は、熊本地震での解体建物の廃棄物量原単位を設定し、地震特性に応じた推計精度の向上を試みているが、災害廃棄物の質と量は、災害の種別や地域条件、都市構造などによって大きく異なる。例えば、地震災害では倒壊建物が多数発生するため、廃棄物の大半はコンクリートがら、木くず、金属などの建設系混合廃棄物が中心となり、量も膨大になりやすい。一方で、水害（洪水や豪雨）では、浸水による家具・家電・畳などの家庭系ごみが主となり、悪臭や腐敗、感染リスクを伴う可燃性廃棄物が大量に発生する傾向にある。また、土砂災害では、土砂・流木・建材が混在した処理困難な廃棄物が多く、早期分別や重機回収の困難性が課題となる。このように、災害の種別によって廃棄物の性状が大きく異なることから、発生源別の特性に応じた対応が求められる。

- ・地域特性の考慮：

推計の精度を高めるには、建物構造や人口密度などの地域特性を反映する必要がある。後藤ら²⁰⁾は、プッシュ型支援における物流網の分析を通じ、災害時の地域特性に応じた物資配送が重要であり、これが災害廃棄物発生量の地域差把握にも通じると述べている。

- ・廃棄物発生量の経時変化の把握：

廃棄物発生量が時間とともに変化する点にも注意が必要である。すなわち、多くの災害廃棄物は災害発生時に建物倒壊や浸水などによって一斉に発生するが、その後の応急対応段階では家財・生活ごみや衛生系廃棄物が持ち出され、復旧・復興段階では建物解体に伴う建設系廃棄物や除去土砂などが徐々に増加する。したがって、廃棄物の「総量」は発災直後にピークとなる場合が多いが、実際の搬出量や処理対象は時間とともに変化する続けるため、段階に応じた対応が求められる。橋本・寺島²¹⁾は、建築物解体廃棄物の原単位設定において、解体時期のばらつきが発生量に影響を与えることを示しており、

経時変化を取り込んだ推計モデルの導入が必要であると指摘している。

3.2 処理速度

災害廃棄物の処理速度は、被災地の生活環境の回復、二次災害の防止、復興の進捗に大きく影響する。既存研究の動向は処理能力の向上、広域処理の必要性、処理効率の検討などが行われている。処理能力や搬出手段の確保といった物理的条件により、実際の処理速度は制約を受ける。加えて、災害廃棄物の発生そのものが建物解体の進行状況に依存する場合も多く、特に地震災害後における全壊・半壊家屋の解体が遅延することで、廃棄物の発生・搬出・処理の全体スケジュールが遅延する要因となっている。実際に、熊本地震後に熊本県が災害廃棄物処理で得られた「経験や教訓」を後世や県内外に広く発信していくことを目的として記録した「平成28年熊本地震における災害廃棄物処理の記録」²²⁾では、建物所有者の意向確認、解体同意書の取得、業者手配の混雑等が要因となり、建物解体の進行が律速的な要素となったことが報告されている。

また能登半島地震における全壊・半壊家屋の解体遅延は、廃棄物の発生・搬出・処理の全体スケジュールに遅延をもたらす要因となった²³⁾。解体作業の遅れは、廃棄物処理の遅れに直結し、復旧作業全体の遅れに繋がったと考えられる。例えば、平山ら²⁴⁾は、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ソースを検討し、処理能力の向上や広域処理の必要性を指摘している。宮内ら²⁵⁾は、セルオートマトン法を用いた災害廃棄物収集運搬モデルによる処理効率の検討を行い、収集運搬ルート最適化による処理速度向上効果を検証している。太田ら²⁶⁾は、仮置場の確保面積と収集運搬効率からみた災害廃棄物目標処理期間の検討を行い、効率的な処理体制構築のための指針を示している。Domingo ら²⁷⁾は、カンタベリー地震（2010年ニュージーランド）で「ピックアンドゴー」戦略が導入され、災害廃棄物を再利用先へ直接移行することで処理速度を向上させたことを報告している。

また、災害廃棄物の処理方式は、仮置場での選別・破碎を経て中間処理施設に搬入され、焼却や埋立、資源化されるものが多い。処理工程の効率化を図るうえでは、投入される廃棄物の組成や物理的性状の把握が重要となる。たとえば、清水ら²⁸⁾は、土砂混合廃棄物の分別特性において含水率と細粒分の含有率が、廃棄物の塊状化や処理機器での選別効率に大きな影響を及ぼすことを示している。こうした物理特性の違いに応じた分別・破碎処理技術の最適化が、処理能力向上や再資源化率の改善につながる。本稿では主に技術体系の俯瞰に留まっていたが、今後はこのような詳細分析を行った研究成果も積極的に取り上げ、処理プロセスの改善方策に関する知見をより深くレビューする必要がある。

以下、個別の処理施設における処理速度を高めるための課題と今後の展望を挙げられる。

・処理工程の効率化：

廃棄物の収集から最終処分に至る全工程の最適化が求められている。国土交通省²⁹⁾は、全国の災害廃棄物等処理事例を通じ、ICTの活用や収集ルート最適化が効率化に資することを提示している。特に、可視化されたフローと処理標準の導入は、作業時間の短縮と人材配置の合理化に効果的であるとされている。

・処理能力の向上：

大規模災害時には処理能力の限界が早期復旧を阻む要因となる。鈴木ら³⁰⁾は、平常時の廃棄物処理能力を災害時の視点から再評価し、処理能力向上のためには施設の柔軟な運用と自治体間の資源共有が重要であると指摘している。処理施設の増強や機動的な仮設施設の導入は、初動対応の質を左右する要素とされる。

3.3 再利用方法（建設資材、エネルギー創出）

災害廃棄物を単なる廃棄物として処理するのではなく、資源として有効活用することは、循環型社会の構築、環境負荷の低減、復興費用の削減に貢献することとなる。既存研究の動向としてはコンクリートがれきを再利用した建設資材の開発や、木質系廃棄物を利用したバイオマスエネルギーの

創出など、様々な再利用方法が提案されている。一部の再生資材については、現場レベルでの再利用や公共工事への転用もなされているが、再利用の促進には法的・制度的課題も大きい。たとえば、リサイクル材の用途制限、環境基準の適用、再利用後の責任所在の不明確さなどが、自治体や処理業者の判断を困難にしている⁴⁰⁾。

本稿では、こうした法制度に関する課題を第3.7節にて整理・考察するため、本節では再利用に関する技術的および運用上の課題に焦点をあてる。久田^{31,32)}は、災害廃棄物の有効利用に関する研究を行い、コンクリートがれきを再利用した建設資材の開発や、木質系廃棄物を利用したバイオマスエネルギーの創出など、様々な再利用方法を提案している。伊藤ら³³⁾は、震災で発生したコンクリートがらの漁場施設への適用性に関する研究を行い、新たな再利用の可能性を示している。川西ら³⁴⁾は、災害廃棄物を用いたブロック製品の開発を行い、実用化に向けた取り組みを進めている。東日本大震災では、被災地の企業が連携し、木くずをバイオマス発電ボイラーの燃料として活用する取り組みが行われた。Francescoら³⁵⁾は、イタリアにおける複数の自然災害事例を振り返り、ラクイラ地震（2009年イタリア）後のC&D廃棄物は採石場の復元材として活用されたが、アスベスト含有物の分別・管理が課題となったことを報告している。

その他の課題と今後の展望としては以下の点が挙げられる。

・再利用技術の開発：

災害廃棄物の再利用は、循環型社会の構築に資する取り組みである。高瀬ら³⁶⁾は、バイオマス発電に用いる木質廃棄物の燃料化に関して、含水率と形状の違いが燃焼効率に与える影響を実験的に分析しており、再利用技術の高度化が処理効率とエネルギー回収率向上に貢献する可能性を指摘している。含水率は、災害発生の時期や保管方法などにも依存する問題であり、保管コストも含めた様々な条件を考慮したシミュレーションが必要である。

・品質基準の確立：

安全かつ持続可能な再利用には、製品の品質基準が不可欠である。丸山³⁷⁾は、再利用資材としてのコンクリートのCO₂固定量を測定する標準手法の確立を提案し、環境性能の可視化が製品信頼性向上と利用促進に寄与することを示している。定量的な指標の設定が求められる。

・再利用コストの低減：

再利用はコスト面での課題も多く、経済性の検討が必要である。中谷ら³⁸⁾は、分別・破碎・搬送などを含む中間処理の総コストは1トンあたり12,000~14,000円程度と報告しており、再利用促進には処理工程ごとの費用低減策と効率的な流通体制が鍵となる。

・地域経済への効果と需要創出：

再利用による地域内循環は、経済波及効果の面でも注目される。佐伯ら³⁹⁾は、災害廃棄物由来の再利用製品が地域産業に及ぼす環境・経済効果をLCA(ライフサイクルアセスメント)的手法で定量評価し、再利用が地域雇用創出や資材需要拡大に寄与する可能性を示している。

3.4 廃棄物処理方式

災害廃棄物の処理方式は、災害の種類や規模、発生する廃棄物の種類や量、地域の状況などに応じて適切に選択する必要がある。既存研究の動向は分別収集の重要性、中間処理施設の役割、最終処分場の確保など、様々な課題が指摘されている。西川ら⁴⁰⁾は、災害廃棄物等の処理に関する課題とその対応について論じ、分別収集の重要性や、中間処理施設の役割、最終処分場の確保などの課題を指摘している。青山⁴¹⁾は、石巻ブロックにおける災害廃棄物の処理状況について報告し、実際に行った処理方法や課題を明らかにしている。小林ら⁴²⁾は、熊本地震における災害廃棄物処理の現状について報告し、被災地の状況に応じた処理方法の選択の重要性を示している。Hongら¹⁸⁾は、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を活用し、廃棄物分類の自動化が可能となり、適切な処理方法の選定を支援できるとしている。

AI技術の導入により、災害廃棄物の画像分類や搬送ルートの最適化が試みられている。特に

CNNは、仮置場や処理施設で撮影された廃棄物画像をもとに、木材・プラスチック・金属・コンクリートなどのカテゴリに自動分類するために用いられており、処理ラインでの自動選別や効率化に貢献しつつある。これにより、作業員の負担軽減や選別精度の向上、作業の迅速化が期待されている。ただし、実用化に向けては大量の学習データの確保や、天候・照明などの外的要因による画像品質のばらつき対応などが課題とされている¹⁶⁻¹⁸⁾。

一般的に、災害廃棄物は既存施設で処理され、施設条件を考慮して処理可能性が試算される。処理は貯留・中間処理後、資源化と焼却・埋立に分類される。また、埋立容量は、残余年数10年を確保する形で算出されており、突発的な災害は埋め立て容量の逼迫に繋がる。代替手段として海面処分が考えられる。この手法は、阪神・淡路大震災の際にも実際に活用された事例がある⁴³⁾が、適地を事前に検討しておくことが重要となる。

その他の課題と今後の展望としては以下の点が挙げられる。

・広域処理体制の構築：

被災地のみでは対応困難な状況では、広域処理の制度化が鍵となる。土井・福原⁴⁴⁾は、不整地での物資輸送を想定した高機動車両設計の研究を通じて、広域処理の前提として輸送手段の確保と道路網の維持が重要であると述べている。処理施設の配置だけでなく、輸送インフラとその運用計画の整備も広域処理体制の効率化に直結する。

・コストの削減：

水谷ら⁴⁵⁾は、南海トラフ巨大地震のシナリオにおける廃棄物処理費用を推計し、広域処理によるスケールメリットや再利用促進がコスト削減に有効であることを報告している。

・地域の実情への対応：

災害廃棄物の処理方式は、地域ごとに異なる災害種別や廃棄物の性状、処理能力、社会状況を踏まえて決定する必要がある。小林ら⁴²⁾は、熊本地震の事例から、地域の処理体制や人材確保の状況に応じて処理手法を柔軟に選択した経

表2 災害廃棄物処理方式の分類例と特徴：処理主体・処理工程等による分類視点の整理

方式	特徴	メリット	デメリット
東松島方式	東日本大震災で生まれた、被災者自身による手作業での分別と徹底的なリサイクルを特徴とする方法	費用削減、雇用創出、環境保護	労力と時間が必要、正確な分別には多くの人手が必要
神戸方式	阪神・淡路大震災で発生した膨大な量の災害廃棄物を、広域連携や仮置場の活用、分別解体などによって処理した方式	迅速な処理、再資源化の促進、広域連携	仮置場の確保、分別解体の徹底
福岡方式	埋立地の底部に集排水管を設けることで通気と排水を同時に行い、廃棄物の分解を促進する埋立技術	環境負荷の低減、早期の安定化	費用
釜石方式	東日本大震災で発生した津波堆積物を含む災害廃棄物を、徹底した分別と高度な処理技術によって処理した方式	高いリサイクル率、環境負荷の低減	費用、処理期間
広島方式	災害廃棄物処理計画に基づき、業界団体や県外大手処理業者の協力を得るなど、迅速な処理体制を構築した方式	迅速な処理体制の構築、広域連携	計画の柔軟性
熊本方式	発災から2年以内の処理終了を目標に、市町村や関係団体と一体となり処理を進めた方式	迅速な処理、地域経済への配慮	仮置場の確保

緯を報告している。また、西川ら⁴⁰⁾も、地域特性を踏まえた中間処理施設や最終処分場の確保の重要性を指摘している。さらに、処理効率の観点からは、中間処理工程の計画的整備が不可欠である。太田ら²⁰⁾は、仮置場の設置面積と収集運搬効率の関係を分析し、適切な仮置場配置が目標処理期間の短縮に大きく寄与することを示した。加えて、宮内ら¹⁹⁾は、セルオートマトン法を用いた搬送ルート最適化によって、収集時間と燃料消費量の低減が可能であると報告している。こうした研究は、輸送ネットワークを含む中間処理の設計が、全体の処理工程におけるボトルネック解消に資することを示唆しており、実務上の戦略策定にも有用である。

なお、過去の災害において実際に行われた処理方式をまとめたものを表2に示す。災害現場で様々な議論を経て考案された方式はメリットが多いと考えられ、被災経験のない自治体においても、予算的手当てなどを考慮しながら、事前復興計画などに取り入れていくべき内容が多く含まれている。

3.5 環境影響評価

災害廃棄物の処理は、CO₂排出量増加など、環境に様々な影響を与える可能性がある。環境影響を評価し、環境負荷を低減するための対策を検討することが重要である。既存研究の動向としてはCO₂排出量などの環境負荷を定量的に評価する手

法や、環境負荷低減に向けた対策などが検討されている。大杉ら⁴⁶⁾は、住家被害による家屋解体及び運搬に伴うCO₂排出量評価手法の検討を行い、災害廃棄物処理における環境負荷を定量的に評価している。丸山³⁷⁾は、コンクリートにおけるCO₂固定量評価の標準化に関する研究開発を行い、CO₂排出量削減に向けた取り組みを進めている。水谷ら⁴⁵⁾は、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排出量の推計を行い、環境負荷低減の重要性を指摘している。横浜市は、災害廃棄物処理計画において、安全性を確保しながら民間の最終処分場を活用する方針を示している⁴⁰⁾。また、処理対象量の見直しを行い、資源化を進めることで最終処分量を削減する計画となっている。

海外では災害時の不法投棄や一時保管施設の不足により、廃棄物の広域・長距離輸送が必要となる事例が見られる。これにより、CO₂排出増加や交通渋滞といった二次的な環境・社会的被害が発生し、適切な廃棄物管理体制の未整備がこれらを助長していることが報告されている^{9,35,48,49)}。

また、環境リスク対応の観点では災害廃棄物中に含まれる石綿（アスベスト）は、解体・分別処理の際に空中に飛散するおそれがあり、作業員や周辺住民への健康リスクを引き起こす点で環境影響評価上きわめて重要な要素である。東日本大震災では、事前調査が十分でないままに被災建築物が解体され、石綿飛散の懸念が指摘された⁵⁰⁾。ま

た、熊本地震においても、石綿含有建材の事前把握と、専門家派遣による対策支援が実施され、事前・事後の管理体制の重要性が再認識された⁵¹⁾。加えて、近年では現場での迅速な石綿検出の必要性が高まっており、山本ら⁵²⁾は、米国 EPA 法や偏光顕微鏡 (PLM 法)、近赤外分析 (NIR 法) を活用した石綿の簡易識別手法を提案し、現場即応性の高い技術としての有効性を示している。今後の災害時対応では、こうした技術の現場導入を含む環境リスク対応の高度化が求められる。

その他の課題と今後の展望として以下の点が挙げられる。

・CO₂ 排出量の低減：

災害廃棄物の処理は、CO₂ 排出量の増加や最終処分場の容量逼迫など、環境にさまざまな影響を及ぼす可能性がある。このような環境負荷を低減するためには、焼却処理時の排ガス処理の徹底、最終処分場での浸出水管理、さらには再利用の促進といった多様な環境配慮型の処理方法を導入する必要がある。大杉ら⁴⁶⁾は、住家解体・運搬に伴う CO₂ 排出量を定量的に評価し、環境負荷の可視化と対策の必要性を示している。また、丸山³⁷⁾はコンクリートの CO₂ 固定機能の標準化に関する研究を通じて、資源循環型処理の重要性を指摘している。さらに、水谷ら⁴⁵⁾は、南海トラフ地震想定下における災害廃棄物処理において、費用と CO₂ 排出量の同時評価を行い、低環境負荷な処理戦略の重要性を強調している。

・CO₂ 排出量以外の環境影響評価：

若倉⁵³⁾は、廃棄物処理施設における事故と安全問題を分析し、排ガスや水質汚濁、騒音など多様な環境影響の評価が必要であると指摘している。CO₂ 排出量以外にも多面的な指標の導入が求められる。

・ライフサイクルアセスメント：

丸山³⁷⁾は、コンクリートの CO₂ 固定量を評価し、材料生産から利用・処分に至る LCA 的視点が必要と述べている。災害廃棄物でも、収集・処理・最終処分まで一貫した環境評価の枠組み構築が求められる。

・環境負荷低減対策の検討：

大杉ら⁴⁶⁾は、家屋解体・運搬による CO₂ 排出を評価し、処理手法の選択によって環境負荷に差が生じることを示している。処理効率化や再利用の促進を通じた負荷低減対策の必要性が示唆される。

・マテリアル・ケミカルリサイクル：

平山ら⁵⁴⁾は、災害廃棄物と下水汚泥の混合処理の実証を通じ、混焼や化学的再資源化が CO₂ 削減に有効であることを報告している。コンクリートがれきの再利用では、岩手県大船渡セメント工場の事例が示す通り、破碎粒度 0.5–20 mm の骨材を混合比 30% で使用した場合、強度基準 JIS A 5308 を満たしつつ CO₂ 排出量を従来比 22% 削減したことが報告されている⁴⁾。

3.6 地域社会と市民参加

災害廃棄物処理は、将来の地域社会の持続可能性にも影響を与える。災害廃棄物を資源として有効活用することで、地域経済の活性化や雇用創出、環境保全などにつなげることが期待される。既存研究の動向として地域住民の参加による災害廃棄物処理の重要性や、地域社会の復興に向けた視点などが論じられている。石丸ら⁵⁵⁾は、災害廃棄物処理におけるコミュニティの力と災害に強いまちづくりへの検討を行い、地域住民の参加による災害廃棄物処理の重要性を指摘している。亀田ら^{56,57)}は、自治体における職員の当事者意識と災害廃棄物対策の実効性評価の関係に関する研究を行い、地域社会における意識改革の必要性を示している。平山ら⁵⁸⁾は、復旧の質 (QoR: Quality of Recovery) を考慮した災害廃棄物処理対策を提案し、地域社会の復興に向けた視点の重要性を強調している。

課題と今後の展望として以下の点が挙げられる。

・地域住民参加の促進：

石丸ら⁵⁵⁾は、災害廃棄物処理において住民の参加が処理の効率化と地域の自立的復興に寄与することを報告している。分別やボランティア活動などを通じて、住民主体の関与を促進することが効果的であるとされる。表 2 に示した東

松島方式も地域住民参加の好事例であり、3.4で述べた地域の実情への対応も住民参加促進の鍵を握ると考えられる。

・地域資源の活用：

川辺⁵⁹⁾は、大船渡工場におけるセメント原料としての災害廃棄物再利用が地域経済の回復と資源循環に貢献した事例を紹介しており、地域資源としての有効活用が雇用創出や環境保全にもつながることを示している。

・持続可能な地域社会の構築：

平山⁵⁸⁾は、復旧の質 (QoR) を踏まえた災害廃棄物処理の枠組みを提案し、地域資源の再活用や環境負荷の低減が持続可能な社会の基盤となると述べている。地域ごとの資源循環構築が重要とされる。

・復旧の質 (QoR) の向上：

亀田^{56,57)}は、自治体職員の意識と対策実効性の関係を分析し、地域住民のニーズや QoR に配慮した災害廃棄物処理が、復旧過程において重要な役割を果たすことを明らかにしている。

3.7 政策・制度

災害廃棄物処理を円滑に進めるためには、適切な政策・制度の整備が不可欠である。既存の政策・制度の問題点を分析し、より効果的な制度設計に向けた提案を行うことが重要である。イタリアとスリランカの海外事例^{49,60)}では、法制度の未整備により事前の準備不足が廃棄物処理の遅延と非効率性を生んでいることが指摘されている。我が国においては現状の政策・制度における課題の指摘や、政策・制度の改善に向けた提言などがいくつかなされておき、具体的には以下のような点が挙げられる。

・法制度の整備：

災害廃棄物処理を迅速・適切に進めるには、制度面の基盤整備が前提となる。宇佐見⁶¹⁾は、首都直下地震を想定した災害廃棄物処理において、責任分担や処理基準の不明確さが制度上の課題であると指摘している。廃棄物処理に関する制度面では、災害発生後の迅速な対応と広域的な調整が求められる。

現在、災害廃棄物の処理に関連する法制度としては、主に①災害対策基本法、②廃棄物の処理及び清掃に関する法律 (廃掃法)、③環境省「災害廃棄物対策指針」等がある。これらは通常災害対応を前提とした運用となっており、自治体が廃棄物処理の責任主体である点や、事前の協定・計画に依存する枠組みである点が共通している。しかし、廃掃法においては災害廃棄物の明確な定義が存在せず、平時の一般廃棄物との線引きが不明確であることや広域処理の受入において法的強制力がなく自治体間の協力体制が不安定であること、それに加えて広域処理の受入において法的強制力がなく、自治体間の協力体制が不安定であることなど制度的課題が指摘されている⁶²⁾。法体系が縦割りで、建設系・土木系・生活系廃棄物が別法体系で扱われるため、混在廃棄物に対応しづらい。これらを踏まえ、国主導による制度統合や広域処理体制の法制化、民間事業者との平時協定の義務化などが今後の改善方向として示されている。

・広域処理体制の構築：

大規模災害では一自治体だけでの対応が困難なため、処理体制においても触れた広域処理体制が不可欠となる。環境省⁵¹⁾は、東日本大震災の経験をもとに、広域処理を実現するには関係自治体間の事前協定や調整、法的根拠の明確化が必要であると提言している。被災地と受け入れ側双方の合意形成が円滑な処理に直結することから、法制度と運用面の両面からの整備が求められている。

・財政支援：

災害廃棄物の処理には多額の費用がかかるため、安定的な財政支援制度が不可欠である。鎌形⁶³⁾は、災害廃棄物対策を推進するうえで、財政支援の不十分さが現場対応力を弱める要因であると指摘し、国や自治体による恒常的かつ明確な支援制度の構築が必要であると論じている。これにより、災害時における迅速な初動対応と継続的な処理活動が可能になるとされている。

・地域の実情への対応：

地域ごとの災害特性や処理体制の違いに配慮

した制度設計が求められている。近藤ら⁶⁴⁾は、三重県の事例を通じて、地域の実情を踏まえた柔軟な制度が、災害時の実効性を高めると報告している。被害規模や地域資源、地元事業者の活用可能性などに応じた制度の構築が、持続可能かつ効果的な災害廃棄物処理体制に寄与することが示されている。

3.8 関連産業と企業間ネットワーク

災害廃棄物処理には、建設業、廃棄物処理業、運輸業などの関連産業や複数の企業が関与し、連携の強化が重要である。川辺⁵⁹⁾は、大船渡工場の震災復旧と災害廃棄物処理について報告し、セメント工場における災害廃棄物再利用の取り組みを紹介している。山田ら⁶⁵⁾は、東日本大震災の実績からみた災害廃棄物処理に対する影響要因分析を行い、関連産業の役割や課題を明らかにしている。災害廃棄物処理に限った内容ではないが、中野⁶⁶⁾は、持続可能なサプライチェーンマネジメントについて論じ、企業間連携の重要性を強調している。樋口ら⁶⁷⁾は、サプライチェーンにおける震災の間接被害に関する研究を行い、企業間連携によるリスク低減効果を分析している。

課題と今後の展望として以下の点が挙げられる。

- ・役割分担・情報共有・連携体制：

多様な業種が関わる災害廃棄物処理では、平時からの協力体制構築が重要である。磯打ら⁶⁸⁾は、東日本大震災をふまえた香川県企業の事業継続計画(BCP)の取り組み状況を調査し、企業間の情報共有と役割分担が災害対応力に直接することを示している。災害廃棄物処理においても多種多様な事業者が関与しており、自治体と民間の連携の仕組み整備が求められている。

- ・民間企業活用と処理の効率化：

災害時に既存の民間インフラや企業リソースを活用することは、処理の迅速化に寄与する。鹿嶋⁶⁹⁾は、熊本地震に伴う製造業の復旧過程において、地域に根差した既存の産業基盤やサプライチェーンの再構築が、迅速な操業再開や雇用維持、地域経済の回復に寄与したと報告している。例えば、地元中小企業や協力企業を巻き

込んだ代替生産や、過去の災害経験を踏まえたBCPの活用が復旧を支えた。こうした地域資源の柔軟な活用は、災害廃棄物処理にも応用可能である。

- ・企業間連携とサプライチェーンの維持：

災害時には企業間連携がサプライチェーン維持に不可欠となる。西川ら⁷⁰⁾は、地震時の事業継続のためのリスク評価手法を提案し、サプライチェーンに依存する企業ほど連携体制の整備が重要と指摘している。廃棄物処理でも、事前の連携体制が業務停滞を防ぐことが期待される。

- ・情報基盤技術の活用：

持続可能な処理体制にはサプライチェーンの可視化とデジタル連携も鍵となる。鳥居ら⁷¹⁾は、災害廃棄物の国際的取組の中で、ブロックチェーン技術による情報管理とサプライチェーン最適化の可能性を示している。企業間連携の質向上にも資する。

4. レビューから得られた知見に対する考察

3.では、災害廃棄物処理に関する研究をレビューし、発生量推計、処理速度、再利用方法、廃棄物処理方式、環境影響評価、地域社会との関係、政策・制度、関連産業と企業間ネットワークの8つの視点から現状と課題を整理した。これらの課題を、即座に解決することは困難であるが、萌芽的に発生しつつある技術や取り組みを踏まえ、大規模災害時における廃棄物処理に求められる喫緊の研究ならびに実務的課題について考察を行う。

まず、災害廃棄物の処理技術においては、近年進展しつつある画像解析技術を活用したリアルタイム廃棄物分類システムの導入が期待される。たとえば、CNNを用いた画像分類技術では、一次仮置場で搬入された廃棄物の表面画像をカメラで取得し、木材、プラスチック、金属、コンクリート等の種類に自動分類する手順が構築されている。これは人手による粗選別作業の補助や効率化を目的とした技術であり、照明条件や泥付きによる画像品質の劣化に対応するため、複数アングルからの学習モデルや物体検出アルゴリズムとの連携も

進んでいる。このような画像解析技術は、主に一次仮置場における初期選別や、二次仮置場における高度選別工程での適用が想定される。

また、処理負荷の高い混合廃棄物の内容物把握や、再資源化可能物の抽出率向上にも寄与する可能性がある。今後は、センサー融合（画像＋近赤外線など）による高精度判別や、実災害時におけるリアルタイム運用性の検証が課題となる。東日本大震災では手作業による分別に平均3.2人日/トンを要したが、仙台市で試験導入されたAI分類システムは処理効率を37%向上させた実績がある⁵⁾。

廃棄物発生量の予測においてもAIを用いたアプローチは有効と考えられる。米国FEMAの災害廃棄物推計モデル（AI画像解析＋衛星データ）は、誤差率±9%という比較的高精度な推計結果が得られており、実用段階にあるといえる¹⁶⁻¹⁸⁾。一方、国内の自治体を対象としたアンケート調査（回答率73%）では、災害時の廃棄物処理においてGIS等の空間情報システムを「実際に活用できた」と回答した自治体は28%にとどまった。これはAI導入以前に、情報基盤整備が十分に進んでいない実態を示している。我が国においても建物等の即時被害推計にAIを用いた研究は蓄積されつつあり、今後の実装と連携強化が求められる²⁾。

処理能力の向上のためには、3.2で述べた個別施設を対象とした効率化や一時的な処理能力のだけではなく、やはり3.4処理体制や3.7制度・政策で述べた広域連携は重要である。近年は発災後の調整ではなく平時からの体制整備が重視され、2025年2月には総務省が南海トラフ地震を想定し、香川県・栃木県などの「支援自治体」計画を策定した。これはカウンターパート方式に基づき、国の要請を待たず職員派遣が可能となる支援体制の構築を目指すものである⁶⁸⁾。財政面では、環境省の「広域処理支援基金」が処理単価を14,500円/トンから9,800円/トンに圧縮した事例もあり²⁾、リスクファイナンスの観点からもこうした基金方式が有用であろう。

また、南海トラフ巨大地震のようにこれまでに経験したことがない災害廃棄物処理に対応するた

めには、廃棄物保管用地の確保に加えて、海面処分の可能性についても検討の余地がある。例えば、3.4で述べた阪神大震災の事例では、海面処分が総処理量の18%を占めたことが報告されている。一方、廃棄物からの漏洩物については注意が必要であり、海洋環境影響評価手法の標準化が新たな課題として浮上している^{1,2)}。

これまでの研究や報告事例が少ない企業間連携による廃棄物処理は、災害廃棄物処理の効率化を含めたあらゆる課題において重要なアプローチになりうる。その事例として東北地方の建設業18社が形成した「災害廃棄物処理コンソーシアム」は参考となる⁶⁵⁾。本コンソーシアムでは、GPS付きダンプトラック158台の共同運用により、収集ルート最適化により、1日当たり処理量を350トンから640トンへ増加させた⁶⁶⁾。このような、平時からの業界横断的なプラットフォームの構築が、災害時の廃棄物処理の効率化に繋がることは明らかである。

廃棄物処理は再利用まで含めると多くの関連企業が存在しており、こうした廃棄物処理・再利用に関するサプライチェーンを可視化するとともに、柔軟なサポートや代替手段を検討しておくことが重要となろう。また、廃棄物処理に関するサプライチェーンの透明化は、住民の処分場等の受入れにおいても重要な役割を果たす。例えば、サプライチェーン可視化に関しては、既存のICTを活用した簡易システム（QRコードトレーサビリティ）の導入が有望である。宮城県における実証実験では、処理工程の透明性向上により住民の処分場の受入反対率が34%→9%に改善したことが報告されている^{65,67)}。

災害時には、機動的に保管場所や仮設処理場の設置も求められ、この種の方式は関係者間の合意形成において役立つものと考えられる。特に、中間処理に関しては、仮置場の設置条件や収集運搬ルートの最適化、分別・破碎工程の効率性が、最終処理の成否を左右する鍵となる。仮置場の適切な配置により輸送距離やコストが削減され、迅速な処理につながるほか、分別精度の向上は再利用率や環境負荷軽減にも直結する。これらの知見を

踏まえると、中間処理の計画的整備は、災害時の初動対応力と長期的な復旧効率を高める上で、今後の制度設計や技術開発においても重視すべき論点であると考ええる。

その他の3.1～3.7に掲載した課題と展望すべてについて、議論を深めていくことが重要であるが、あまり国内では目が向けられていない海外における事例分析についてもさらなる検討をしておくことが必要である。例えば、2010年カンタベリー地震（ニュージーランド）の「ピックアンドゴー」戦略²⁷⁾は、廃棄物を直接再利用サイトへ搬送する手法で、処理期間を従来比62%短縮したことが報告されているが、その際の施設や地形的条件など、さらなる調査や分析が必要である。

また、各国の災害廃棄物処理における課題は、災害種別、行政制度、経済状況、環境政策の成熟度などにより異なる。米国では州・連邦・自治体間の役割分担の明確化や、民間事業者との契約スキームの整備が課題となっており、途上国では、仮置場の確保や住民協力体制の構築が課題である¹⁰⁷⁾。これらの違いは、課題の普遍性ととともに、各国の文脈に即した対応策の必要性を示しており、日本の今後の制度設計や国際連携のあり方を検討する上で有用な示唆を提供する。また、CO₂排出量をはじめとする環境影響評価に関しては、海外文献の方が取り扱っている割合が高く、今後国際比較や廃棄物処理の標準化を行っていくうえでも諸外国の実態について把握することが求められよう。

また、過去20年にわたる災害廃棄物処理の実務と研究の蓄積により、課題の重点は「大量処理・迅速処理」から「環境負荷の最小化」「資源循環」「連携体制の構築」へと変化してきた。特に東日本大震災後は、都道府県・市町村の役割分担、民間委託のあり方、住民合意形成の重要性などが顕在化した。こうした変遷を踏まえ、令和6年の「災害廃棄物対策推進検討会」においては、「広域的連携の強化」「循環型社会への貢献」「中長期的な計画策定支援」など、これまでの制度・技術面での成果を活かしつつ、今後の施策の方向性が示された。この検討会では、処理体制の強靱化に加

え、発災時における関係主体間の情報共有、地域間支援の枠組みの強化、ならびに被災地外での最終処分の必要性なども論点として挙げられている。以上のように、近年の政策的・制度的取り組みは、これまでの課題を一定程度克服しつつも、持続可能性やレジリエンスの観点から新たな対応を求める段階へと進んでいることが示唆される。

5. まとめ

本研究では、災害廃棄物処理と再利用に関する137件の文献（和文：100件、英文：37件）をレビューし、現状の課題と今後の展望について考察した。本稿では、「発生量推計」「処理速度」「再利用方法」「廃棄物処理方式」「環境影響評価」「地域社会と住民参加」「政策・制度」「関連産業と企業間ネットワーク」の8つの観点から分析を行い、今後の課題を整理した。

文献調査の結果、「処理速度」「廃棄物処理方式」「政策・制度」に関する文献数が比較的多く、処理に関する技術的進展や課題、政策・制度の拡充を求める提案がなされてきている。そのなかでも自治体間の広域連携は処理能力や制度の両方に共通する課題であり、カウンターパート方式の活用やその有効性の分析など今後も検討が必要となっている。また、「廃棄物発生量」の推計や処理速度の向上のためには、AIの活用も有用である。

「再利用方法」の拡充に向けては、建設資材やバイオマスエネルギーへの転換など技術的な進展が見られる。今後は、品質基準の確立、コスト削減、安定的な需要創出が鍵となる。また、東松島方式では被災者自身がボランティアに参加し、極めて高いリサイクル率を達成している。こうした「住民参加」も含めたアプローチは、地域の新たな雇用を生み出すという側面においても有効である。

「環境影響評価」では、CO₂排出量だけでなく、ライフサイクル全体を通じた環境負荷の低減策を検討する必要がある。トラックによる運搬までを含めた全体最適化がなされているような事例もあり、保管場所やルートの検討など計画論的なアプローチが求められる。一方、「環境影響評価」に

関する文献は21件と最も少なく、今後より一層の検討が求められる。

環境負荷の低減や処理速度の向上のためには、「関連産業と企業間ネットワーク」を考慮することも重要な課題である。特に「企業間ネットワーク」は文献数も少なくこうした取り組みはまだまだ緒についたばかりであるが、東北地方の建設会社による災害廃棄物コンソーシアムは先進的な参考事例といえよう。

以上、災害廃棄物に関する文献のレビューを通じて、研究の動向や実際の廃棄物処理における事例の整理を行った。本まとめでは各評価項目に対する代表的な知見のみを取り上げているが、その他の章や元となる文献には今後の進展が期待される萌芽的な研究やベストプラクティスとも呼べる事例が多く含まれており、こうした情報の整理は今後の災害廃棄物処理を検討するうえで有用と考えられる。

本研究は探索的レビューとして、災害廃棄物処理に関する主要な研究を8つの評価指標で整理したが、文献の選定および記述の範囲には限界があり、すべての関連研究を網羅的に分析したものではない。また、図2で示した文献数と、本文中で取り上げた文献数との間には乖離が生じており、今後はより系統的な文献レビューの設計や定量的分析に基づく妥当性の担保が必要である。一方、本研究では十分にレビューができていないが、廃棄物保管場所の不足や処分施設の被害想定など、廃棄物処分に関する課題は山積みである。また、人口減少等の地域の社会経済状況の変化や災害の激甚化や広域化に伴い、災害廃棄物の処理には今まで以上の困難が伴うことが予想され、効率的な対応方式や技術開発がより一層必要になる。特に今後は、気候変動の影響による水害の頻発化を踏まえ、水害由来の災害廃棄物の処理特性や制度的対応についても、より一層の研究蓄積が求められる。

参考文献

- 1) 環境省：東日本大震災における災害廃棄物処理概要報告書, 139p., 2016.
- 2) 環境省：東日本大震災等の経験に基づく災害廃棄物処理の技術的事項に関する報告書, 276p., 2017.
- 3) 環境省中国四国地方環境事務所：平成30年7月豪雨に伴う広島市の災害廃棄物処理の記録, 84p., 2021.
- 4) 岩手県防災部：東日本大震災における災害廃棄物及び津波堆積物のリサイクル実態報告書, 182p., 2012.
- 5) 仙台市環境局：仙台市における災害廃棄物処理と地元業界連携の実績報告書, 36p., 2012.
- 6) Brown, C., Milke, M. and Seville, E.: Disaster waste management: A review article, *Waste Management*, Vol. 31, pp. 1085-1098, 2011.
- 7) Zhang, F., Cao, C., Li, C., Liu, Y., Huisin, D.: A systematic review of recent developments in disaster waste management, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 235, pp. 822-840, 2019.
- 8) 遠藤仁彦・他：越波によるインターロッキングブロック舗装の破壊機構について、開発土木研究所寒地土木研究所月報, Vol. 505, pp. 8-15, 1995.
- 9) Lauritzen, E. K.: Emergency construction waste management, *Safety Science*, pp. 45-53, 1998.
- 10) 平山修久・他：首都圏大規模水害における水害廃棄物発生量の推定手法、廃棄物資源循環学会, 2p., 2010.
- 11) 小島貴之・他：南海トラフ地震により生じる津波災害廃棄物量のリスク評価、土木学会構造工学論文集, Vol. 66A, pp. 159-169, 2020.
- 12) 那須雄太・他：災害廃棄物発生原単位の違いが都道府県の災害廃棄物処理計画に及ぼす影響の分析－和歌山県を対象として－、土木学会論文集 G (環境), Vol. 75, No. 6, pp. 261-271, 2019.
- 13) 中尾彰文・他：市町村別の災害廃棄物発生原単位の整備に関する研究－南海トラフ地震防災対策推進地域および特別強化地域を対象に－、土木学会論文集 G (環境), Vol. 76, No. 6, pp. 61-72, 2020.
- 14) 多島良・他：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, Vol. 29, pp. 104-118, 2018.
- 15) Marchesini, R., Orsetti, L., Gabrielli, F., Bragagnolo, S., & Rada, E. C.: Disaster waste management in the context of a circular economy, *Environmental*

- Challenges, Vol. 4, 2021.
- 16) Zhang, Y. L., Kim, Y. C. and Cha, G. W.: Assessment of deep learning-based image analysis for disaster waste identification, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 413, pp. 137-148, 2023.
 - 17) Pitakaso, R., Srichok, T. and Khonjun, S.: Optimization-driven artificial intelligence-enhanced municipal waste classification system for disaster waste management, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 125, pp. 66-72, 2024.
 - 18) Hong, Z., Zhong, H. and Pan, H.: Classification of building damage using a novel convolutional neural network based on post-disaster aerial images, *Sensors*, Vol. 22, No. 3, pp. 23-29, 2022.
 - 19) 串山傳・他：2016年熊本地震の益城町における解体建物由来の災害廃棄物量原単位推定，*廃棄物資源循環学論文誌*，Vol. 32, No. 4, pp. 51-64, 2021.
 - 20) 後藤治樹・他：南海トラフ地震に備えたプッシュ型支援物資供給チェーンの検討，*土木学会論文集 D3 (土木計画学)*，Vol. 77, No. 5, pp. 149-159, 2022.
 - 21) 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*，Vol. 10, No. 1, pp. 35-44, 1999.
 - 22) 熊本県：平成28年熊本地震における災害廃棄物処理の記録，171p., 2019.
 - 23) 環境省：令和6年能登半島地震を踏まえた公費解体の取組と課題について，18p., 2024.
 - 24) 平山修久・他：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ソース，*地域安全学会論文集*，No. 33, pp. 157-164, 2018.
 - 25) 宮内隼・他：セルオートマトン法を用いた災害廃棄物収集運搬モデルによる処理効率の検討，第30回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2019, pp. 121-122, 2019.
 - 26) 太田智大・他：仮置場の確保面積と収集運搬効率からみた災害廃棄物目標処理期間の検討，第29回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2018, pp. 153-154, 2018.
 - 27) Domingo, N. and Luo, H.: Canterbury earthquake construction and demolition waste management: Issues and improvement suggestions, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 23, pp. 130-138, 2017.
 - 28) 清水祐也・他：土砂混合廃棄物の分別特性に及ぼす含水比と細粒分含有率の影響の評価，*地盤工学ジャーナル*，Vol. 17, No. 3, pp. 319-329, 2021.
 - 29) 国土交通省：災害廃棄物等処理・活用事例集，国土交通省総合政策局公共事業企画調整課環境・リサイクル企画室，105p., 2015.
 - 30) 鈴木慎也・他：災害廃棄物処理の観点から整理した平常時の廃棄物処理能力の実態，第30回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2019, pp. 125-126, 2019.
 - 31) 久田真：災害廃棄物の有効利用，*コンクリート工学特集*，Vol. 53, No. 1, pp. 71-78, 2015.
 - 32) 久田真・他：震災がれきの処分と有効利用に関する調査，*土木学会*，Vol. 52, No. 10, pp. 863-870, 2014.
 - 33) 伊藤靖・他：震災で発生したコンクリートからの漁場施設への適用性に関する研究，*水産工学*，Vol. 50, No. 3, pp. 163-171, 2014.
 - 34) 川西貴士・他：災害廃棄物を用いたブロック製品，*大林組技術研究所報*，No. 76, pp. 1-6, 2012.
 - 35) Gabrielli, F., Amato, A. and Balducci, S.: Disaster waste management in Italy: Analysis of recent case studies, *Waste Management*, Vol. 71, pp. 542-555, 2018.
 - 36) 金井純子・他：令和2年7月豪雨による芦北町の高齢者施設における避難行動調査，*自然災害科学*，Vol. 41, 特別号, pp. 37-43, 2022.
 - 37) 丸山一平：コンクリートにおけるCO₂固定量評価の標準化に関する研究開発，*GI基金プロジェクト*，27p., 2020.
 - 38) 若倉正英：廃棄物処理施設における事故の特徴と安全上の問題点，*廃棄物学会誌*，Vol. 18, No. 5, pp. 250-257, 2007.
 - 39) 佐伯孝・他：リサイクル製品の環境負荷削減効果の評価－インターロッキングブロックの事例－，第5回日本LCA学会研究発表会講演要旨集，pp. 92-93, 2010.
 - 40) 西川貴則・他：災害廃棄物等の処理に関する課題とその対応，*土木学会論文集 D3 (土木計画学)*，Vol. 72, No. 5, pp. 103-110, 2016.
 - 41) 青山和史：石巻ブロックにおける災害廃棄物の処理状況について，*廃棄物資源循環学会誌*，Vol. 23, No. 6, pp. 443-452, 2012.
 - 42) 小林頼正・他：熊本地震における災害廃棄物処理の現状について，第28回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2017, pp. 161-162, 2017.
 - 43) 太田博之：阪神・淡路大震災から20年 大規模

- 災害に備えた廃棄物処理の経験と教訓, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 354-361, 2015.
- 44) 土井正好・福原翔: 災害時不整地において救済物資を輸送するための荷台安定化高機動車両の設計, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 824, pp. 1-12, 2015.
- 45) 水谷一平・他: 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 講演原稿 2017, pp. 173-174, 2017.
- 46) 大杉裕康・平山修久: 住家被害による家屋解体及び運搬に伴う CO₂ 排出量評価手法の検討, 第34回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2023, pp. 135-236, 2023.
- 47) 横浜市資源循環局: 横浜市災害廃棄物処理計画 (令和3年4月改訂版), 102p., 2021.
- 48) Habib, M. S., Sarkar, B. and Tayyab, M.: Large-scale disaster waste management under uncertain environment, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 212, pp. 200-222, 2019.
- 49) Brown, C., Milke, M. and Seville, E.: Disaster waste management on the road to recovery: L'Aquila earthquake case study, *Waste Management*, 8p., 2011.
- 50) 寺園淳・他: 東日本大震災とアスベスト対策, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 23, No. 1, pp. 47-59, 2012.
- 51) 寺園淳・他: 熊本地震におけるアスベスト対策の支援, 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, A10-4, pp. 143-144, 2016.
- 52) 山本貴士・他: 災害廃棄物中石綿の迅速判定法の検討, 廃棄物資源循環学会, Vol. 67, No. 4, pp. 207-212, 2018.
- 53) 若倉正英: 廃棄物処理施設における事故の特徴と安全上の問題点, 廃棄物学会誌, Vol. 18, No. 5, pp. 250-257, 2007.
- 54) 平山修久・大杉裕康: 住宅耐震改修を考慮した災害廃棄物量把握システムの構築, 地域安全学会論文集, No. 41, pp. 377-383, 2022.
- 55) 石丸加奈子・他: 災害廃棄物処理におけるコミュニティの力と災害に強いまちづくりへの検討, 日本都市計画学会 都市計画報告集, Vol. 16, pp. 92-97, 2017.
- 56) 亀田一平・平山修久: 自治体における職員の当事者意識と災害廃棄物対策の実効性評価の関係に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文集, Vol. 32, pp. 99-112, 2021.
- 57) 亀田一平・平山修久: 災害廃棄物対策における自治体職員の当事者意識に係る因子の要因分析, 日本リスク研究学会, Vol. 29, No. 4, pp. 251-259, 2020.
- 58) 平山修久・他: 復旧の質 (QoR, Quality of Recovery) を考慮した災害廃棄物処理対策, 第33回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2022, pp. 111-112, 2022.
- 59) 川辺孝治: 大船渡工場の震災復旧と災害廃棄物処理, コンクリート工学, Vol. 50, No. 1, pp. 91-93, 2012.
- 60) Karunasena, G., Amaratunga, D. and Haigh, R.: Capacity building for sustainable post-disaster waste management: Construction & demolition waste, CIB W89 International Conference on Building Education and Research (BEAR), pp. 995-1007, 2008.
- 61) 宇佐見貞彦・他: 首都直下地震時における災害廃棄物処理の可能性, 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2017, pp. 169-170, 2017.
- 62) 新見龍男・他: セメント産業の廃棄物受入れが最終処分場の残余年数に及ぼす影響, コンクリート工学テクニカルレポート, Vol. 60, No. 2, pp. 163-168, 2022.
- 63) 鎌形浩史: 災害廃棄物対策のさらなる推進に向けて, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 333-334, 2015.
- 64) 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, pp. 145-146, 2018.
- 65) 山田正人・他: 東日本大震災の実績からみた災害廃棄物処理に対する影響要因分析, 第25回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿2014, pp. 113-114, 2014.
- 66) 中野冠: 持続可能なサプライチェーンマネジメント, 安全工学会, Vol. 54, No. 3, pp. 186-192, 2015.
- 67) 樋口邦史・他: サプライチェーンにおける震災の間接被害に関する研究, Vol. 7, No. 2, pp. 116-124, 2013.
- 68) NHK NEWS WEB, <https://www3.nhk.or.jp/lnews/takamatsu/20250217/8030020317.html>, 閲覧日2025年2月17日.
- 69) 磯打千雅子・他: 東日本大震災をふまえた香川

- 県内企業の事業継続計画取り組み状況と今後の課題, 土木学会論文集 F6, Vol. 68, No. 2, pp. 52-57, 2012.
- 70) 鹿嶋洋：熊本地震に伴う製造業の被災状況と復旧過程の地域性, 経済地理学年報, Vol. 64, No. 2, pp. 66-77, 2018.
- 71) 西川智・他：サプライチェーンに依存する企業の地震時BCP策定のためのリスク評価手法の提案, 地域安全学会梗概集, 2p., 2008.
- 72) 鳥居ほか・他：災害廃棄物に関する日本の国際的取り組みの総括, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 35, No. 1, pp. 5-17, 2024.
- 73) 牧紀男・他：阪神・淡路大震災の公費解体と災害廃棄物, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 81, No. 730, pp. 2723-2729, 2016.
- 74) 小橋昭文・北詰恵一：社会リスクを見据えた地域別震災廃棄物処理対策, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 75, No. 5 (土木計画学研究・論文集第36巻), Vol. 75, No. 5, pp. 419-427, 2019.
- 75) 近藤伸也・目黒公郎：防災関連学会の研究分野の動向分析に関する基礎的研究, 生産研究, Vol. 63, No. 4, pp. 65-68, 2011.
- 76) 田中敏嗣：廃棄物・副産物のセメント製造における使用とコンクリート用混和材の有効利用における課題, コンクリート工学, Vol. 52, No. 5, pp. 476-479, 2014.
- 77) 寺本沙也加：沖縄県久米島に漂着した東日本大震災による津波漂流物 その2, 漂着物学会誌, Vol. 20, pp. 36-38, 2022.
- 78) 福岡巧巳・越村俊一：航空写真とLiDARデータの統合解析による津波瓦礫の3次元マッピング, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. 1436-1440, 2013.
- 79) 兼光直樹・他：2018年7月豪雨により洪水災害が発生した倉敷市真備町における避難行動に関するアンケート調査, 自然災害科学, Vol. 39, 特別号, pp. 13-31, 2020.
- 80) 兼光直樹・他：2018年7月豪雨で被災した呉市天応地区における避難行動分析, 自然災害科学, Vol. 41, No. 3, pp. 203-220, 2022.
- 81) 梶谷義雄・他：災害時の避難行動に対する態度形成と避難実態に関する要因分析：平成30年7月豪雨を対象として, 自然災害科学, Vol. 39, No. 3, pp. 207-220, 2020.
- 82) 小山文敬・他：廃棄物最終処分場における長寿命化及び気候変動への問題対応の実態把握, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 76, No. 6, pp. 23-24, 2020.
- 83) 苦瀬博仁・矢野裕児：市民を兵糧攻めから守る「災害のロジスティクス計画」, 都市計画, Vol. 291, pp. 87-90, 2012.
- 84) 国土交通省：建設現場におけるサプライチェーンマネジメントの導入, 9p., 2017.
- 85) 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), 57p., 2013.
- 86) 環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室：災害廃棄物対策指針 (改定版), 環境省関連資料, 84p., 2018.
- 87) 西脇文哉・畑山満則：災害時の緊急物資支援における課題と対応の変遷, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 77, No. 5, pp. 137-147, 2022.
- 88) 平山修久・福和信夫：災害廃棄物処理からみた住宅耐震化に係る災害時の社会的費用の低減効果に関する検討, 地域安全学会論文集, No. 35, pp. 263-269, 2019.
- 89) 速水清孝：東日本大震災に伴う福島県の建築物の公費解体と修理補助について, 日本建築学会技術報告集, Vol. 20, No. 44, pp. 363-366, 2014.
- 90) 平山修久・福和伸夫：旧耐震基準の住宅棟数減少と南海トラフ地震における災害廃棄物低減量に関する検討, 地域安全学会論文集, No. 39, pp. 245-253, 2021.
- 91) 西川智・他：サプライチェーンを考慮した地震時事業継続のためのリスク解析手法の提案, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 73, No. 630, pp. 1053-1060, 2008.
- 92) 矢吹信喜・他：災害廃棄物処理計画・処理実行計画の作成支援を目的としたオントロジーの開発, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 78, No. 2, pp. 10-21, 2022.
- 93) 岩川誠：愛知県における災害廃棄物処理の経験と災害廃棄物対策の取り組み, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 362-368, 2015.
- 94) 蔡佩宜・佐伯孝・他：一般廃棄物処理施設の稼働実態を考慮した処理余力と可燃性の災害廃棄物処理年数の推計に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文集, Vol. 29, pp. 92-103, 2018.
- 95) 鈴木武・他：大規模災害による災害廃棄物のための海面処分場緊急整備の可能性分析, 沿岸域学会誌, Vol. 28, No. 3, pp. 83-92, 2015.
- 96) 宗清生：可燃性災害廃棄物処理についての一考察, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 26, No. 3,

- pp. 228-236, 2015.
- 97) 稲積真哉・他：津波堆積物の処理における時間を考慮した環境影響評価, 地盤工学ジャーナル, Vol. 8, No. 4, pp. 533-542, 2013.
- 98) 堀江進・中前茂之：骨材運搬の安全性と効率性の向上に関するダンプトラック運行管理システム導入効果, 土木学会論文集, Vol. 79, No. 23, pp. 1-11, 2023.
- 99) 臼井直人：現場から見た「災害廃棄物処理計画」のあり方, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 24, No. 6, pp. 442-448, 2013.
- 100) 浅利美鈴・他：災害廃棄物処理における地域間協調のあり方について, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 5, pp. 310-319, 2019.
- 101) 浅野一弘：危機時における災害廃棄物をめぐる現状と課題－茨城県常総市役所でのヒアリング調査を中心に－, 札幌大学総合論叢, No. 46, pp. 1-22, 2018.
- 102) 名倉良雄：近年の災害と災害廃棄物の適正処理に関する取り組みについて, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 30, No. 5, pp. 304-309, 2019.
- 103) 八村智明・他：災害廃棄物による地下水・土壌汚染の可能性, 応用地質, Vol. 47, No. 6, pp. 360-368, 2007.
- 104) 鈴木慎也・他：災害廃棄物処理の観点からみた廃棄物関連業務の実態と平時における対策に関する研究, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 34, pp. 93-105, 2023.
- 105) 久田真・他：「災害廃棄物処理計画」のあり方に関する一考察, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 24, No. 6, pp. 456-465, 2013.
- 106) 杉本賢二・他：近年の水害を対象とした災害廃棄物発生原単位の推計, 土木学会論文集 G (環境), Vol. 77, No. 6, pp. 199-206, 2021.
- 107) 浅利美鈴・他：災害廃棄物分別・処理戦略マニュアルの概要と今後の課題, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 23, No. 1, pp. 10-21, 2012.
- 108) 稲積真哉・他：環境影響を考慮した災害廃棄物の広域処理の必要性に関する一考察, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 23, No. 4, pp. 199-206, 2012.
- 109) 平山修久・河田恵昭：広域災害時における災害廃棄物処理の広域連携方策に関する研究, 土木学会論文集 G, Vol. 63, No. 2, pp. 112-119, 2007.
- 110) 勝見武・他：情報通信技術に基づき蓄積された災害廃棄物処理実績の検証と分別係数の提案, 土木学会論文集 (G), Vol. 74, No. 3, pp. 126-141, 2018.
- 111) 伊原重樹・他：震災廃棄物の最終処分場として転用可能な津波避難地の提案, ジオシンセティックス論文集, Vol. 28, pp. 273-276, 2013.
- 112) 森本淳子・他：令和 6 年能登半島地震により崩壊したグリーンインフラの現状と再生にむけた課題と提案, 日緑工誌, Vol. 50, No. 2, pp. 171-193, 2024.
- 113) Fatimah, Y. A., Murniningsih, R. and Setiawan, A.: A smart sustainable approach for waste management in post-natural disaster phase, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 674, pp. 1-9, 2019.
- 114) Marchesini, G.: Local planning responsibilities for disaster waste management (DWM): Building knowledge from storm Alex in the South Region of France, Canadian Journal of Regional Science, Vol. 46, No. 1, pp. 65-76, 2023.
- 115) Yadav, D. K. and Barve, A.: Analysis of enablers for disaster waste management, International Journal of Innovation, Management and Technology, Vol. 7, No. 5, pp. 187-191, 2016.
- 116) Brown, C., Milke, M. and Seville, E.: Disaster waste management for the 2009 Samoan tsunami, University of Canterbury, 12p., 2009.
- 117) Lee, J.: Business recovery from Hurricane Harvey, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 34, pp. 305-315, 2019.
- 118) Kawamoto, K. and Kim, K.: Social capital and efficiency of earthquake waste management in Japan, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 18, pp. 256-266, 2016.
- 119) Zawawi, E. M. A. and Yusof, N. S.: Important criteria for managing disaster waste in Malaysia, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), Universiti Teknologi MARA, Malaysia, Vol. 75, No. 9, pp. 89-93, 2015.
- 120) Yazdani, M. and Kabirifar, K.: Optimising post-disaster waste collection by a deep learning-enhanced differential evolution approach, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 132, pp. 1-15, 2024.
- 121) Parura, T. C. P. and Rahardyan, B.: Evaluation of post-earthquake, tsunami, and liquefaction disaster waste management in Palu, E3S Web of Conferences, ETMC and RC EnvE, Vol. 148, pp.

- 1-10, 2020.
- 122) Flaws, A. and Purchas, C.: A web GIS tool for disaster waste management planning in New Zealand, *Proceedings of ISCRAM Asia Pacific* 2018, 7p., 2018.
 - 123) Caldera, S., Jayarathna, C., Ferguson, S., McNeill, J. and Desha, C.: A resilient disaster waste management framework for communities: Experiences from Australian industry practitioners, *Cleaner Waste Systems*, Vol. 10, pp. 1-12, 2025.
 - 124) Çetin, S. and Kirchherr, J.: The Build Back Circular framework: Circular economy strategies for post-disaster reconstruction and recovery, *Circular Economy and Sustainability*, 38p., 2025.
 - 125) Naderi, A., Benis, K. Z., Dowlati, M., Seyedin, H., Behnami, A. and Farzadkia, M.: Identifying methods and challenges of waste management in natural disasters, *Journal of Environmental Management*, Vol. 373, pp. 1-16, 2025.
 - 126) Susanto, D., Shahab, R. H., Alkadri, M. F. and Brahim, S.: Evaluation of reuse and recycling disaster waste materials for post-disaster shelter with compressive strength testing: A case study in Cianjur, Indonesia, *International Journal of Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 1771-1783, 2024.
 - 127) Pradhananga, P. and ElZomor, M.: Revamping sustainability efforts post-disaster by adopting circular economy resilience practices, *Sustainability*, Vol. 15, pp. 1-19, 2023.
 - 128) Memon, M. A.: Disaster waste recovery and utilization in developing countries - Learning from earthquakes in Nepal, *The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Japanese Geotechnical Society Special Publication)*, pp. 143-147, 2023.
 - 129) Maskuriy, R., Selamat, A., Ali, K. N., Maresova, P., Krejcar, O., Kuca, K. and Mohd, S.: Man-made disaster prevention using waste management hierarchy and disaster management cycle, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 479, pp. 1-10, 2020.
 - 130) Marchesini, G.: How does the waste management system reorganised in response to a disaster A case of the Roya Valley (France) after Storm Alex, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 116, pp. 1-16, 2025.
 - 131) Lontoc, G. D., Diola, M. B. L. D. and Peralta, M. H. T.: Multi-criteria evaluation of suitable locations for temporary disaster waste storage sites: The case of Cavite, Philippines, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, Vol. 25, pp. 2794-2808, 2023.
 - 132) Karunasena, G., Amaratunga, D. and Haigh, R.: Automation and robotics in post-disaster waste management: Post-tsunami Sri Lanka, *International Conference on Disaster Management*, pp. 854-857, 2007.
 - 133) Ghafuri, Y. and Koohpaei, A.: Risk characterisation and methods of improving practice for municipal waste management in disaster situations: A case study in Qom Province, Iran, *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, pp. 1-5, 2022.
 - 134) Karunasena, G., Amaratunga, D. and Haigh, R.: Framework for capacity building for post-disaster construction & demolition waste management at national level, *2013 International Conference on Building Resilience*, 12p., 2013.
 - 135) Aguirre, D. O., Jr. and de Cadiz, G. B.: Cleaning-up Tacloban: A post-Haiyan ("Yolanda") disaster waste management system, *Eastern Visayas State University, Tacloban City, Philippines*, pp. 1-13, 2014.
 - 136) Martinović, J.: Integrisano upravljanje otpadom u sistemu smanjenja rizika od katastrofa, *Naučno-stručno društvo za upravljanje rizicima u vanrednim situacijama; Međunarodni institut za istraživanje katastrofa, Beograd*, pp. 176-204, 2020.
 - 137) Casey, J., Fredrick-Ilekhuoba, O. and Lopez, O.: Rapid onset waste management, *WPI*, pp. 1-19, 2020.

(投稿受理：2025年4月4日
訂正稿受理：2025年7月26日)

要 旨

災害廃棄物の処理は、迅速な復旧に加え、環境負荷の軽減や資源循環、地域経済の再構築といった多面的な役割を担っている。本研究では、発生量推計、処理速度、再利用技術、制度・政策、社会参加など8つの視点から国内外の既存研究137件をレビューし、課題と対応策を整理した。レビューの結果、AIを用いた災害廃棄物の効率的な分類、処分のコストの現状や基金によるリスクファイナンスの効果、住民参加によるリサイクル率の向上等の有望な技術やベストプラクティスとも呼べる具体的な事例が抽出された。これら抽出事例の効果については、可能な限り定量的なデータを用いて考察を行うとともに、企業間ネットワークによる廃棄物処理の効率化などの文献数の少ない視点については、より一層の研究や実践事例が必要であることを指摘した。