

現実事例に基づく災害廃棄物輸送計画の 立案手順についての検討

秋山 孝正¹・井ノ口 弘昭²・樋口 吉隆³・岸野 啓一⁴・龍野 恵則⁵

¹関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

²関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:hiroaki@inokuchi.jp

³セントラルコンサルタント株式会社 大阪支社 (〒530-6012 大阪市北区天満橋1-8-30 OAPタワー12F)
E-mail: yhiguchi@central-con.co.jp

⁴岸野都市交通計画コンサルタント株式会社 (〒612-8081京都市伏見区新町6-480)
E-mail: kishino@mub.biglobe.ne.jp

⁵セントラルコンサルタント株式会社 大阪支社 (〒530-6012 大阪市北区天満橋1-8-30 OAPタワー12F)
E-mail: statsuno@central-con.co.jp

将来的な発生が推測される南海トラフ地震では、広範囲で膨大な廃棄物処理の必要性が指摘されている。また、東日本大震災においては、大規模津波に起因する災害廃棄物が、3年間の歳月で処理された経験がある。本研究では、これら阪神淡路大震災（1995年）および東日本大震災（2011年）の現実的事例を収集整理することから、事前に検討すべき大規模災害廃棄物輸送計画の立案手順を考察する。すなわち、各大震災における現実的な経験として、関連市町村を単位とした廃棄物輸送プロセスを整理する。このとき、各種の報告資料を参照するとともに、関係機関に対するヒアリング調査結果から得られた基本事項が蓄積される。また、将来の災害復興計画を前提とした廃棄物処理計画の立案手順を体系化する。最終的に、現実事例の知識集積から、災害廃棄物輸送計画における基本的要件を具体化するとともに、時間変化を踏まえた応答型廃棄物輸送に関する具体的な運用形態について言及する。

Key Words : 災害廃棄物, 東日本大震災, 現実事例, 廃棄物輸送問題, 廃棄物処理場

1. はじめに

わが国の大規模災害として、これまで阪神淡路大震災（1995年）・東日本大震災（2011年）が発生しており、関連地域における災害復興が現在も進展している。一方で、熊本地震（2016年）では、これらの災害経験を踏まえた各方面からの対応が推進されている。

これらの対応のなかでも、災害廃棄物の処理は関連地域の災害復興に係る重要な課題であるといえる。さらに、将来的な発生が推測される南海トラフ地震においては、広範囲で膨大な廃棄物処理計画策定の必要性が指摘されている。このようなことから、本研究では、阪神淡路大震災および東日本大震災における廃棄物処理に関する現

実的事例を収集整理する。すなわち、大規模災害廃棄物輸送に関する現実的な処理手順を現実事例に基づいて体系化する。具体的には、東日本大震災を中心とした各地域の廃棄物処理に関する現実事例に関する報告資料を参照するとともに、関係機関に対するヒアリング調査の結果から得られた基本事項に基づいて、現実的で時系列的な災害廃棄物処理手順を明確化する。

また、災害廃棄物発生地点から一次処理場・二次処理場までの廃棄物輸送問題に対しては、都市道路網における運搬車両の運行方法について、輸送問題としての具体的検討を行う。最終的に現実事例から得られた知見を廃棄物輸送手順として体系化することで、今後の災害廃棄物輸送計画に関する提案を行う。

2 災害廃棄物処理の概要

まず本研究で対象とする災害廃棄物処理の概要を整理する。特に阪神淡路大震災、東日本大震災の大規模地震災害を念頭において、災害廃棄物の具体的内容を検討する。ここで表1は、地震、津波などの災害によって発生する災害廃棄物を分類したものである¹⁾。本表から、災害廃棄物は、比較的多数の類型化が可能であり、廃棄物の種類により処理方法が相違すると考えられる。

表1 災害廃棄物の種類

廃棄物の種類	廃棄物の概要
①木くず	柱・梁・壁材、水害または津波などによる流木など
②コンクリートがら等	コンクリート片やコンクリートブロック、アスファルトくずなど
③金属くず	鉄骨や鉄筋、アルミ材など
④可燃物	繊維類、紙、木くず、プラスチック等が混在した廃棄物
⑤不燃物	分別することができない細かなコンクリートや木くず、プラスチック、ガラス、土砂などが混在し、概ね不燃性の廃棄物
⑥腐敗性廃棄物	畳や被災冷蔵庫等から排出される水産物、食品、水産加工場や飼肥料工場等から発生する原料及び製品など
⑦津波堆積物	海底の土砂やヘドロが津波により陸上に打ち上げられ堆積したものや陸上に存在していた農地土壌等が津波に巻き込まれたもの
⑧廃家電	被災家屋から排出されるテレビ、洗濯機、エアコンなどの家電類で、災害により被害を受け使用できなくなったもの
⑨廃自動車等	災害により被害を受け使用できなくなった自動車、自動二輪、原付自転車
⑩廃船舶	災害により被害を受け使用できなくなった船舶
⑪有機廃棄物	石綿含有廃棄物、PCB、感染性廃棄物、化学物質、フロン類・CCA・テトラクロロエチレン等の有害物質、医療品類、農薬類の有害廃棄物等
⑫その他	消火器、ポンプ類などの危険物やピアノ、マットレスなどの地方公共団体の施設では処理が困難なもの

災害廃棄物に関して、阪神淡路大震災では、約2,000万トンが発生しており、東日本大震災では、約2,019万トンが発生している²⁾。また、東日本大震災はプレート境界型地震であり、災害廃棄物に加えて、津波堆積物が、約1,102万トン発生している。

つぎに、東日本大震災に関する廃棄物処理の時間的推移について考察する。図1は、災害廃棄物処理における搬入率と処理割合の推移を示している。ここで、災害廃棄物の搬入（廃棄物の移動）は、比較的早期に80%以上完了していることがわかる。

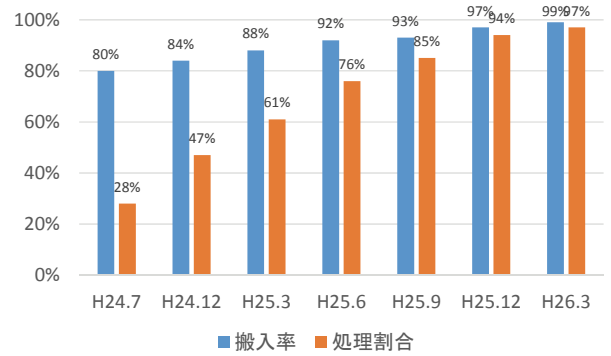


図1 災害廃棄物の搬入率・処理割合の推移 (東日本大震災)

一方で、廃棄物の処理割合は、一定の処理時間が必要であることから、比例的な増加曲線であることがわかる。すなわち、廃棄物の搬入は早期に実行され、廃棄物処理は搬入後に順次行われている。

同様に津波堆積物に関する搬入率・処理割合の推移を図2に示す。全般的な傾向は通常の災害廃棄物と同様である。しかしながら、災害廃棄物に対して、搬入率・処理割合ともに対応速度は遅い。

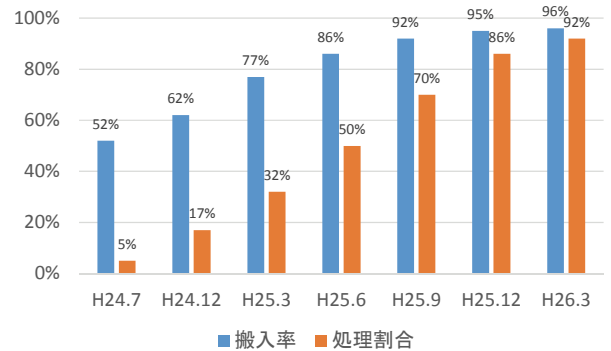


図2 津波堆積物の搬入率・処理割合の推移 (東日本大震災)

すなわち、80%程度の搬入を完了するまで、災害発生から約2年程度の時間を要することがわかる。この点から津波の発生する大規模地震では、通常廃棄物に加えて、津波堆積物の処理を別途検討する必要があるといえる。

つぎに、災害廃棄物処理の種類について検討する。図3は東日本大震災における災害廃棄物の種類を整理したものである（具体的には13都道府県の処理量より算定している）。これより廃棄物の割合を大別すると、可燃物系が約20%、不燃物系が約80%となっている。この割合は阪神淡路大震災における住宅・建築物系の廃棄物の内訳と同程度であることがわかる。また不燃物においては、構造物から発生する廃棄物として、コンクリート・木くず等が大きな割合となっていることがわかる。

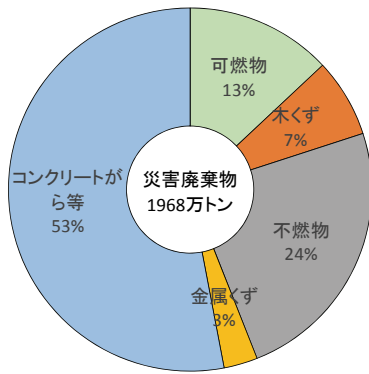


図3 災害廃棄物の種類 (東日本大震災)

つぎに災害廃棄物の処理プロセスに着目する³⁾。通常災害廃棄物発生地点は広域的に分布しており、廃棄物を一次処理場 (一次仮置場) に移動することが、廃棄物処理の初期プロセスと考えられる。このため、災害発生時には、災害廃棄物発生状況に合わせて一次処理場が設置されている。図4は、東日本大震災における仮置場の設置数 (3県沿岸市町村: 避難区域を除く) の時間的推移を示したものである。

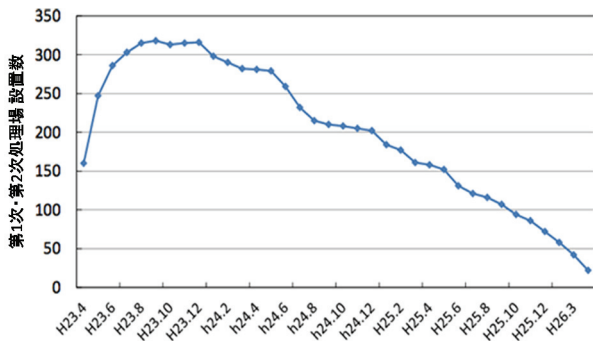


図4 災害廃棄物仮置場設置数の推移 (東日本大震災)

本図より災害発生 (H23.3) から6ヶ月程度は、仮置場設置数が増加していることがわかる。最大では平成23年9月末に318箇所となっている。一方でその後の廃棄物処理の進展に伴い、仮置場数は一定割合で減少しており、3年間 (平成26年3月末) の時点では93%が解消されている。これらは、災害廃棄物の一次処理場の役割が主として廃棄物の移動、蓄積であり、二次処理場に運搬して各種処理プロセスが実行される段階では、仮置場の必要性が減少することに対応すると考えられる。

3 災害廃棄物処理に関する基礎分析

前章について全般的な廃棄物処理プロセスを整理した。つぎに、災害廃棄物処理の現実地区における事例を収集して相対的な比較検討を行う。事例収集にあたっては、阪神大震災においては、神戸市全域に関する資料を収集した⁴⁾。また東日本大震災においては、廃棄物輸送プロ

ックを基本的な集計単位としている^{5), 6)}。したがって、災害廃棄物事例の収集地域は表2のように整理できる。

表2 災害廃棄物処理事例収集地域

No.	対象都市名	面積 (km ²)	常住人口* (千人)	廃棄物量 (万トン)
0	兵庫県神戸市	557	1,482	804
1	宮城県仙台市	788	1,070	265
2	宮城県気仙沼処理区	333	68	172
3	宮城県南三陸処理区	164	15	82
4	宮城県石巻ブロック	724	198	1402
5	宮城県宮城東部ブロック	51	137	93
6	宮城県名取処理区	98	74	137
7	宮城県岩沼処理区	61	44	159
8	宮城県亘理処理区	73	34	231
9	宮城県山元処理区	64	13	145
10	岩手県	15,275	1,294	802

* 神戸市: 平成11年10月現在、宮城県・岩手県: 平成25年12月現在

このとき、阪神淡路大震災 (神戸市データ) については、一連の分析結果の相対的な比較のための資料とする。したがって以下の分析においては、東日本大震災データ (番号1~10) を利用する。

まず災害廃棄物の発生量と災害被害との関係について考える。図5は災害被害として人的被害 (死者・行方不明者数) に対する廃棄物量を示したものである。

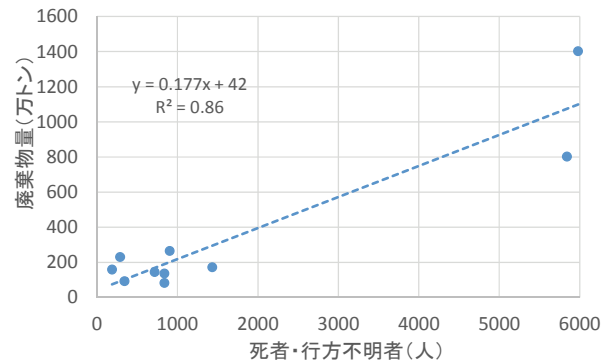


図5 災害被害と災害廃棄物量の関係 (東日本大震災)

本図では、廃棄物量200万トン前後の地区が多数存在しており、仙台市・岩手県の大規模サンプルを含む統計となっている。全般的には、人的被害との相関は比較的大きい。したがって、災害被害の程度と災害廃棄物の発生量は有意な関係性が大きいといえる。

つぎに、災害廃棄物に直接的に関係すると考えられる構造物に関する災害被害の程度を用いて同様の分析を行った。図6は、災害被害として家屋損壊数を用いて (横軸)、廃棄物発生量との関係を示している。この場合にも、変数間の相関性が大きいことがわかる。

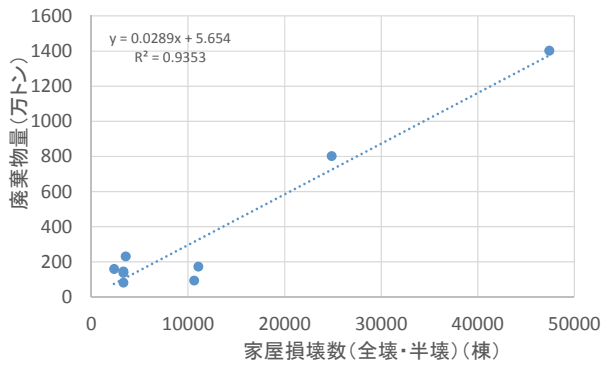


図6 災害被害と災害廃棄物量の関係（東日本大震災）

この場合には、人的被害に比べて、多様な被害程度が表現されている。これらのことより、災害廃棄物発生量は、災害被害の程度と相関が高いことがわかった。

つぎに、地区別の災害廃棄物の構成割合について検討する。図7は、東日本大震災の各地区の廃棄物処理における廃棄物種別の構成割合を示したものである。ここで仙台市統計においては、廃棄物種別の分類方法が若干相違している。

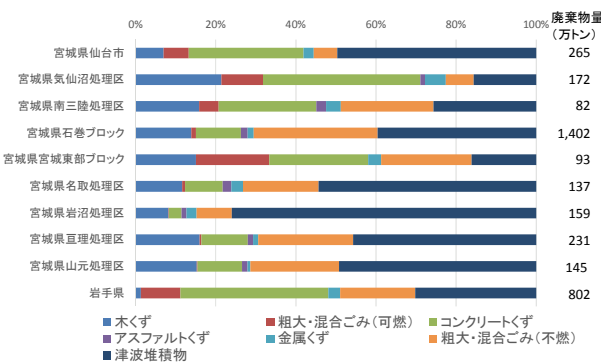


図7 地区別災害廃棄物構成（東日本大震災）

本図より、東日本大震災における津波被害に関して地区ごとの津波被害に対して、津波堆積物の発生量が大きく相違することがわかる。また廃棄物種類においても構成割合が、地区ごとに相違していることがわかる。このようなことから、廃棄物処理における二次処理（廃棄物種別ごとの処理）の形式について、地域の特性を考慮する必要があることがわかる。

前章で検討したように、廃棄物処理量に応じて一次処理場の設置・解消が検討される。ここでは、具体的な廃棄物処理量と一次処理場（一次仮置場）の設定容量の関係を考える。そのため、図8に各地区の廃棄物量と一次処理場の合計面積（ha）の関係を示す。なおこの場合、廃棄物種別の統計方法が相違すると思われる仙台市データを除いた地区（番号2～10）のデータを利用している。

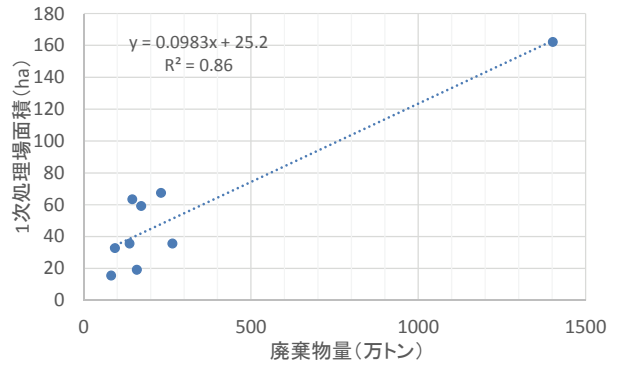


図7 廃棄物量と一次処理場の関係（東日本大震災）

本図より、廃棄物処理の必要性から、各地区において廃棄物総量に応じた一次処理場の設定が行われていることがわかる。したがって、災害廃棄物処理においては、一次処理場の規模を決定するため、処理初期段階の廃棄物発生量の的確な推定が重要であることがわかる。

つぎに、廃棄物発生地点～一次処理場～二次処理場の廃棄物輸送の運行方法に着目した分析を行う。表3は、現実事例における運搬車両運行時の管理方法を整理したものである。ここで、①GPS運行管理とは、車両にGPSを搭載して、車両との双方向通信を行うことで、道路交通情報を共有して、効率的運行を推進するものである。また、②時間運行管理とは、道路交通の利用目的・時間特性を把握することから、運行経路・運行時間を調整するものである。また、③鉄道輸送・海上輸送などの道路交通に加えた運行形態を実施した事例がみられる。

表3 災害廃棄物の運行状況（東日本大震災）

No.	対象都市名	GPS運行管理	時間運行管理	鉄道・海上等
1	宮城県仙台市	—	—	—
2	宮城県気仙沼処理区	○	○	○
3	宮城県南三陸処理区	○	○	○
4	宮城県石巻ブロック	○		○
5	宮城県宮城東部ブロック	○	○	○
6	宮城県名取処理区	○		
7	宮城県岩沼処理区	○	○	
8	宮城県亶理処理区	○		
9	宮城県山元処理区	○		
10	岩手県	○		○

本表より、現時点ではGPSによる運行管理は極めて一般的であること、日常的な交通との関係が懸念される場合には、時間的な運行管理が実行されることがわかる。

4 災害廃棄物処理計画の立案手順の整理

これまでの現実事例に基づく検討結果を踏まえて、災害廃棄物処理に関する基本的手順を整理する。すなわち

災害廃棄物処理においては、廃棄物処理計画の立案と実施に関して、基本プロセスを検討する必要があることがわかった。これらの災害廃棄物処理の基本的フローを図 8 に記載している。

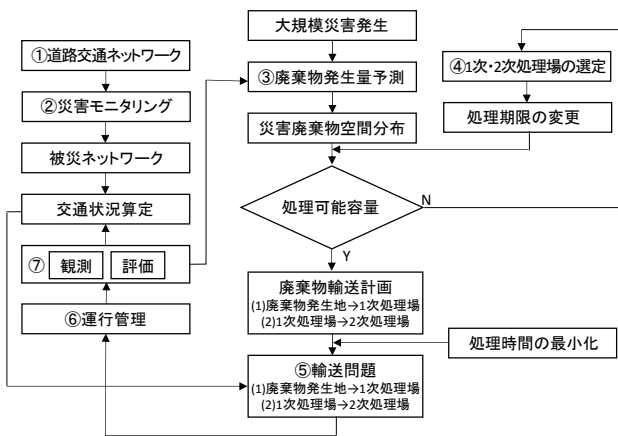


図 8 災害廃棄物処理の基本的フローの整理

本図の基本フローに関して重要な点を挙げる。①災害廃棄物の円滑な輸送のためには、事前の現状道路網の状況を把握しておく必要がある。②災害時には、道路網の損傷など道路ネットワークの健全性をモニタリングにより検討する。③一方で、災害発生時には的確な廃棄物処理量の推計が必要である。④災害廃棄物の空間的な推計結果にもとづき一次処理場・二次処理場の空間的配置および必要処理規模が設定できる。⑤一次処理場・二次処理場の設定後は、短期的な廃棄物輸送問題の解決にあたる。⑥輸送問題の解の提示に基づく実際の運行に関しては、現実的運行管理技術を導入する必要がある。⑦最終的に廃棄物輸送に関して、定期的な観測・評価を実行することで、時間経過に伴う廃棄物輸送計画の変更を検討する。これらの手順の実行にあたっては、前章に示した各地域特性に対応した現実的修正が必要不可欠である。

5. おわりに

本研究では、災害廃棄物処理に関して阪神大震災・東日本大震災の現実事例に基づく基本手順を検討した。本研究の主要な成果は以下のように整理できる。

- ① 災害廃棄物の処理手順においては、廃棄物の一次処理（移動・蓄積）は比較的早期に実行され、その後二次処理（分別・種別処理）の時間経過が比較的長期であることがわかった。
- ② 廃棄物処理量は、災害被害の規模と比例的に発生する。したがって災害発生時の廃棄物発生量の的確な推計は一次処理場・二次処理場の配置・容量の決定において極めて重要であることがわかった。
- ③ 廃棄物処理に関する輸送計画においては、廃棄物総量に基づく、時系列的な廃棄物処理計画に加えて、道路交通運用面の検討が必要である。このため交通モニタリングと短期的道路運行管理方法を検討する必要がある。

ここでは、現実事例に基づき災害廃棄物輸送計画を検討した。今後詳細な廃棄物輸送計画を検討するための今後の課題として、①現実の廃棄物輸送で直面した問題点の把握、②地域的特性と一般的な廃棄物輸送計画の関係性の検討、③時系列的な環境変化と現実的対応結果についての事例学習などが期待される。

なお、本研究は、環境省環境研究総合推進費（3K-153008）「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持続可能な適応策評価」の研究成果の一部であることを付記する。

参考文献

- 1) 廃棄物資源循環学会：「災害廃棄物分別・処理実務マニュアル」，ぎょうせい，2012.
- 2) 環境省：「災害廃棄物処理情報サイト」，http://kouik-ishori.env.go.jp/disaster_waste/outline_processing/index.html，2015.
- 3) 環境省：「東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針（マスタープラン）」，2011.
- 4) 神戸市環境局：災害廃棄物処理事業業務報告書，1998.
- 5) 宮城県：「災害廃棄物処理業務の記録」，2014.
- 6) 仙台市：「東日本大震災 仙台市 震災記録誌」，2013.

(2016. 4. 22 受付)