

災害廃棄物の時間変化に着目した 廃棄物処理手順の定式化

井ノ口弘昭¹・秋山孝正²

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:hiroaki@inokuchi.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:akiyama@kansai-u.ac.jp

東日本大震災では、死者・行方不明者が1万8千人となり、甚大な被害が発生した。また、家屋の倒壊、津波による流出により、多くの建築物が全壊・半壊した。これに伴い、多くの災害廃棄物が発生し、早期の復興が望まれている。本研究では、震災廃棄物の処理に関して、輸送問題として検討する。このとき、廃棄物発生量の推計は困難であり、現実的に発生量の見直しが行われている。そこで、本研究では廃棄物発生推定量の時間的な変化に着目し、輸送計画を立案する。はじめに、輸送問題として定式化し、つぎに廃棄物処理計画について検討する。

Key Words : disaster waste processing, transport problem, time variation of waste estimation

1. はじめに

東日本大震災による被害は極めて甚大であり、被災地の支援が行われている。このとき被災地の早期の復興に向けて、災害廃棄物の早急な処理は不可欠であり、関係機関の連携により成果を挙げている。東日本大震災の災害廃棄物処理の経験から学習し、東南海地震等の巨大地震に対する災害廃棄物処理に期待される基本的手順を構築する必要がある。そこで、本研究では廃棄物量推定値の時間的な変化に着目し、災害廃棄物処理過程を道路輸送問題の合理的組み合わせとして定式化する。

2. 災害廃棄物処理の概要

災害廃棄物処理について、東日本大震災の各地域における廃棄物処理の状況を参考として検討を進める。環境省によれば、東日本大震災において、目標期日(平成26年3月末)までに、岩手県・宮城県を含む12道県、231市町村において、災害廃棄物及び津波堆積物の処理が完了している。また福島県の一部地域(8市町村)においては、継続して処理を実施中である(図-1)。

また、災害廃棄物の8割強、津波堆積物のほぼ全量を再生利用している。本図からわかるように、災害廃棄物処理においては最終処理施設の能力に対応して、処理量が増加することに対して、災害廃棄物の被災地からの移動に関しては、一次処理施設に依存して、比較的短期間で運搬が実行されていることがわかる。

ここでは、現実的な大震災時の廃棄物処理に関して整理する。現実的な廃棄物処理の基本的な流れを図-2に示

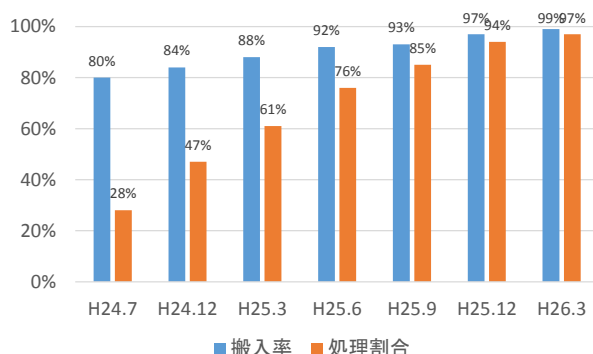


図-1 廃棄物処理の推移

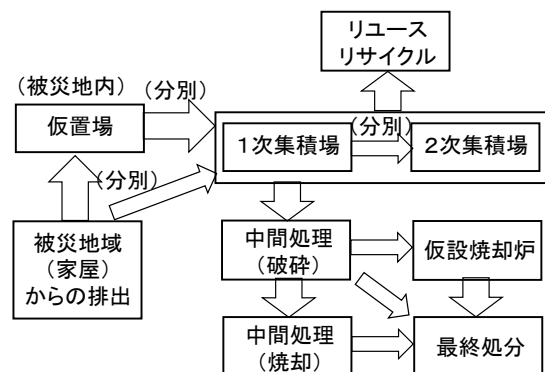


図-2 災害廃棄物処理の基本フロー

す。倒壊した建築物は、地域内の仮置場あるいは第1次集積場に集められる。このとき、木くず、コンクリートくず、金属くずなどに荒選別が行われる。第1次集積

場、第 2 次集積場では、分別が行われ、リユース・リサイクルあるいは焼却・埋め立て処分が行われる。

3. 災害廃棄物処理のモデル化

ここでは、災害廃棄物処理に関して、輸送計画を中心としたモデル化を行う。

(1) 災害廃棄物処理モデルの構成

はじめに、災害廃棄物処理モデルの構成について整理する。災害廃棄物処理は、1 次処理までは市町村、2 次処理以降は都道府県が行う。本モデルでは、1 市町村の災害廃棄物処理を想定してモデル化する。ここで検討する構成要素を図-3 に示す。

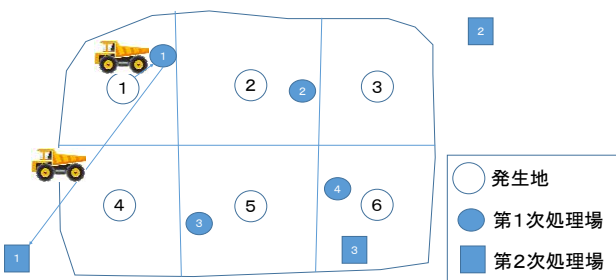


図-3 災害廃棄物処理の構成要素

災害廃棄物の発生は、市全体に及ぶ。また、1 次集積場（処理場）は、市内に複数箇所の空地を利用して設置される。さらに、2 次集積場（処理場）は、市内・外に設置される。本モデルでは、災害廃棄物の発生地として 6 地域を想定する。また、第 1 次処理場は、市内に 4 箇所を設定する。さらに、第 2 次処理場として市内に 1 箇所、市外に 2 箇所を設定する。市内に 1 箇所設置する施設は、市の独自処理を想定したものである。

(2) 災害廃棄物輸送モデル構造

つぎに、災害廃棄物輸送モデルの構造について検討する。災害の発生後に、各自治体において廃棄物の把握が行われる。また、通行可能な道路の把握、復旧状況の把握が必要である。さらに、市町村において 1 次処理場の造成、都道府県において 2 次処理場の造成が行われる。

本研究で構築するモデル構造を図 4 に示す。震災による廃棄物量は、震災後に把握されるが、把握が難しく、現実的には見直しが行われる。例えば、宮城県名取市では、はじめは 41 万 t と推計されていたが、平成 24 年 7 月の見直しでは 43 万 t、平成 25 年 4 月の見直しで 70 万 t、平成 26 年 3 月の最終見直しとして 77 万 t と推計量が見直されている。このため、本研究においても廃棄物量の見直しプロセスを組み込む。

大震災の場合、現実的には輸送費用を詳細に検討して輸送計画を立てることは困難であると考えられる。また、

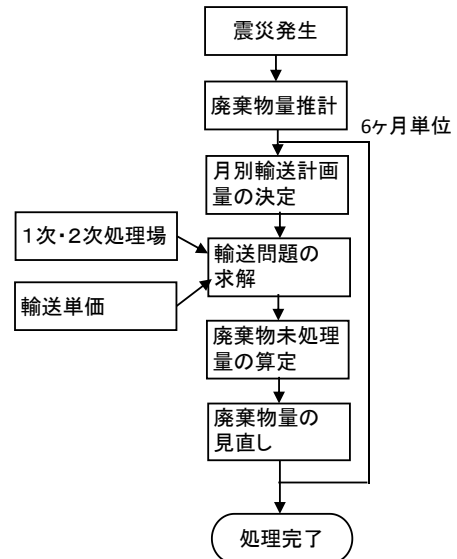


図-4 廃棄物輸送モデルの構造

東日本大震災の場合、輸送費用は最終的には補助金を受け、市の負担額は発生していない。ただし、輸送費用の最小化は、輸送効率の最大化につながると考えられる。輸送効率は、災害廃棄物処理において重要と考えられる。このため、モデルにおいては各処理場への輸送計画として輸送費用の最小化問題を考える。

本輸送問題を次式に示す。

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_1} c_{ij}^{(1)} x_{ij}^{(1)} + \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{k=1}^{n_2} c_{jk}^{(2)} x_{jk}^{(2)} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^{n_1} x_{ij}^{(1)} \geq d_i, \quad \forall i \in D \quad (\text{地域別発生量})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^{(1)} \leq e1_j, \quad \forall j \in E_1 \quad (\text{1次処理量})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}^{(1)} = \sum_{k=1}^{n_2} x_{jk}^{(2)}, \quad \forall j \in E_1 \quad (\text{1次処理量})$$

$$\sum_{j=1}^{n_1} x_{jk}^{(2)} \leq e2_k, \quad \forall k \in E_2 \quad (\text{2次処理量})$$

ここで、 $c_{ij}^{(1)}, x_{ij}^{(1)}$: 発生地域 i から第 1 次処理場 j までの輸送単価・輸送量、 $c_{ij}^{(2)}, x_{ij}^{(2)}$: 第 1 次処理場 i から第 2 次処理場 j までの輸送単価・輸送量、 d_i : 発生地域 i で処理が必要な廃棄物量（1ヶ月）、 $e1_i, e2_i$: 第 1 次・第 2 次処理場 i で処理可能な廃棄物量（1ヶ月）である。

制約条件として、3 年間で処理が完了するための 1 ヶ月あたりの必要処理量、第 1 次処理場・第 2 次処理場の処理可能容量、第 1 次処理場に関する均衡条件を設定する。これらの制約の基で、輸送費用が最小となる輸送計画を立案する。

4. 廃棄物量推定に着目した処理手順の算定

ここでは、前章で構築したモデルを用いて、廃棄物処理計画について具体的に検討する。

(1) 災害廃棄物量・輸送費用の設定

はじめに、モデルに必要な設定条件を整理する。ここでは、6 地域で構成される 1 市町村を想定する。災害廃棄物の推計量を図-5 に示す。廃棄物量の把握の不確実性を考慮し、半年単位で推計量の見直しを想定する。

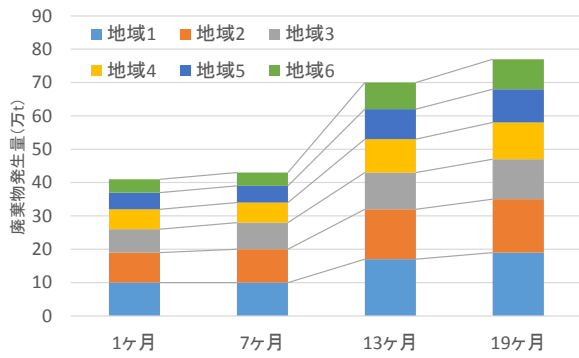


図-5 災害廃棄物推計量の推移

現実の事例を参考として、最終的な廃棄物量は当初想定との1.9倍としている。

つぎに、輸送費用に関する設定を行う。本モデルには、第1次処理場までの輸送、第2次処理場までの輸送を含めている。各発生地から第1次処理場までの輸送費用設定を表-1 に示す。輸送距離の相違を考慮し、9 千円～19 千円の範囲で設定している。

表-1 第1次処理場への輸送費用

		第1次処理場			
		1	2	3	4
発生地	1	10	13	15	17
	2	14	9	15	18
	3	12	9	14	17
	4	16	13	10	14
	5	17	12	10	15
	6	19	15	13	9

単位：ダンプ1台(10t)あたり千円

つぎに、第1次処理場から第2次処理場までの輸送費用を表-2 に示す。第2次処理場までの輸送は、第1次処理場までの輸送と比較して、長距離輸送であると想定される。このため、輸送費用も高額となっている。

表-2 第2次処理場への輸送費用

		第2次処理場		
		1	2	3
第1次処理場	1	30	40	28
	2	33	38	23
	3	41	32	22
	4	48	35	20

また、各処理場の処理可能容量は、表-3に示す。第2次処理場3は、市内処理を想定しているため、処理可能容量は、他の処理場と比較して少なく設定している。

表-3 各処理場の処理可能容量

	1	2	3	4
第1次処理場	8,000	6,000	7,000	5,000
第2次処理場	12,000	9,000	4,000	—

単位：1ヶ月あたりt

(2) 災害廃棄物輸送計画の策定

前節で設定した廃棄物量・輸送単価を用いて1ヶ月単位の輸送計画を策定する。当初の想定である廃棄物量が41万tであり、処理期間として30カ月を想定した時のモデル適用結果を図-6に示す。

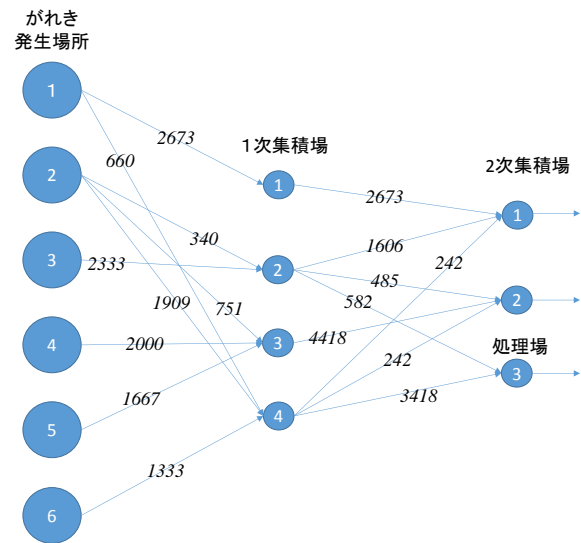


図-6 廃棄物輸送ネットワーク図

発生地から第1次処理場までの輸送として、1箇所の発生地から複数の集積場に運搬することが効率的であることが示されている。また、第2次処理場までの輸送に関して、1次処理場2,4からの輸送は複数の2次処理場へ輸送すると効率的であることが示されている。この時の総輸送費用として、16.5億円と想定される。

つぎに、発生量推計の見直しを行う。見直しの際は、未処理量に対して、残り期間で処理できるように1ヶ月あたりの必要処理量を設定する。発生量推計の見直しは、3回行われる。3回目の見直しにおいて、当初18ヶ月での処理済量は31.5万tである。全体の処理必要量は77万tであり、残り期間(12ヶ月)の処理必要量は45.5万tとなる。したがって、1ヶ月あたりの処理量は3.8tであり、当初の想定1.4tと比較して2.8倍となっている。このため、第1次処理場・第2次処理場の処理可能容量の制約で、30ヶ月での制約を満たす輸送計画は求められない。そこで、処理期間を37ヶ月に延長し、輸送計画を立案した。

つぎに、累積廃棄物処理量を図-7に示す。発生量見直しが行われるため、線形の増加ではないことがわかる。

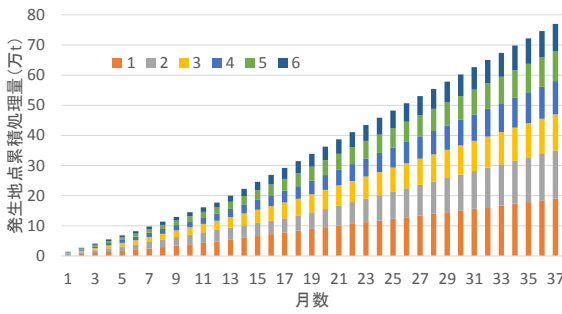


図-7 廃棄物処理量の経時的累積

つぎに、廃棄物輸送費用を図-8に示す。当初の廃棄物量の場合、総輸送費用は16.5億円である。最終的な廃棄物量見積もりの結果、総輸送費用が30.9億円となった。したがって、当初の想定1.9倍の輸送費用である。

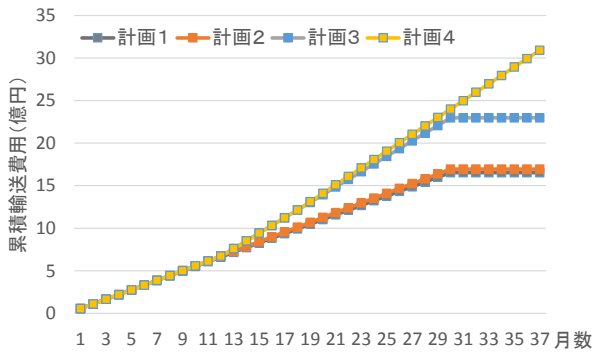


図-8 廃棄物輸送費用の推移

(3) 処理場容量向上に対応した災害廃棄物輸送計画

前節での輸送計画では、19ヶ月目の見直しに関して、30ヶ月で処理可能な計画を立案することが出来なかった。そこで、第1次処理場・第2次処理場の容量を増加することを検討する。ここでは、第1次処理場4の容量を5000tから9000tへ、第2次処理場2の容量を9000tから13000tへ増加させるケースを設定する。輸送モデルを適用した結果、3年以内である35ヶ月で処理可能な輸送計画を立案することが出来た。この時の輸送計画を図-9に示す。この時の総輸送費用は27.7億円と算定される。したがって、37ヶ月で処理する計画と比較して3.2億円の削減である。

ここでは考慮されていない処理場の容量増加に必要な設備の整備費用、早期に処理が完了し土地の他用途利用が可能となることを考慮し、計画を立案することが必要である。

5. おわりに

本研究では、廃棄物量推定値の時間的な変化に着目し、災害廃棄物処理過程を道路輸送問題を検討した。本研究の成果を以下に整理する。

- 1) 災害廃棄物の輸送問題を定式化した。この結果、制約条件下で輸送効率が最大となる輸送計画を立案するこ

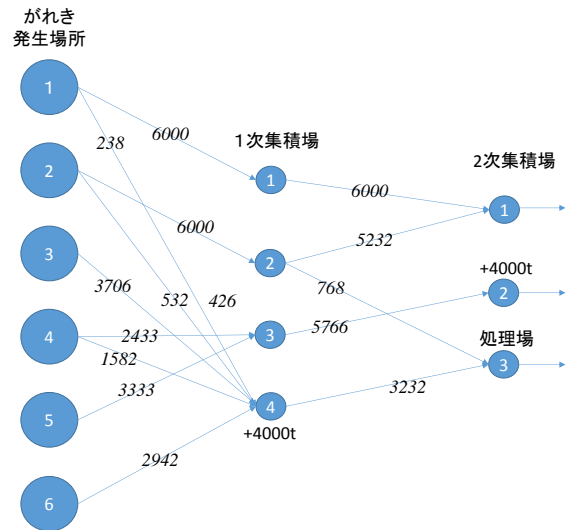


図-9 廃棄物輸送ネットワーク図 (処理場容量増加)

とが可能となった。

- 2) 廃棄物発生量の時間変化を考慮した輸送計画の検討を行った。その結果、発生量が当初推計より多く、37ヶ月必要な処理計画となった。
- 3) 処理場容量の向上に対応した輸送計画を検討した。その結果、35ヶ月での処理計画が立案でき、輸送費用の削減も行われる結果となった。

ここで、災害廃棄物処理については、廃棄物推計量に限らず多様な側面から不確实现象が発生する。このため本研究の今後の課題として、①災害復興過程では道路交通環境がネットワークおよび交通需要の変化が生じるため輸送環境変化を変更する必要がある、②現実の災害廃棄物は多種類の廃棄物が含まれており各処理施設能力・容量が多様であり対応するモデル表現が必要である、③本研究では廃棄物処理期間の制約と輸送経費に基づく評価を用いたが、廃棄物処理の合理的評価について検討をする必要がある。

最後に本研究の遂行にあたっては、(株)セントラルコンサルタント大阪支社、岸野都市交通計画コンサルタントのご協力を得た。ここに記し感謝の意を表する次第である。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：「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.
- 3) 環境省：「災害廃棄物処理情報サイト」, 2015.
- 4) 宮城県：「災害廃棄物処理業務の記録」, 2014.

(2015.7.31 受付)