

# 大規模災害における廃棄物輸送の 評価手法の提案

井ノ口 弘昭<sup>1</sup>・秋山 孝正<sup>2</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

2011年3月に発生した東日本大震災では、死者・行方不明者が18,455人（平成28年3月現在）となる甚大な被害が生じた。また、2016年4月には熊本地震が発生した。さらに、M8～9クラスの南海トラフ地震が、30年以内に70%程度の確率で発生すると想定されている。東日本大震災では、家屋の倒壊および津波による被害により、約2千万トンの災害廃棄物、約1.1千万トンの津波堆積物が生じた。また、熊本地震での災害廃棄物発生量は、約100～130万トンと推計されている。また、南海トラフ地震で発生する災害廃棄物は最大で約2億5千万トン、津波堆積物は最大約5900万トンと想定されている。被災地域の復興のためには、災害廃棄物の早期の処理が必要である。

本研究では、災害廃棄物の輸送に関して、輸送計画を立案するための評価方法の構築を行う。輸送計画の評価は、単一の評価指標でなく、多面的な評価が必要である。また、取り扱う指標には、あいまい量が多い。このため、ファジィ測度を用いた評価方法を構築し、評価例を示した。

**Key Words :** debris treatment, transport problem, fuzzy measures

## 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災では、甚大な被害が生じた。また、2016年4月には熊本地震が発生した。さらに、M8～9クラスの南海トラフ地震が、30年以内に70%程度の確率で発生すると想定されている。東日本大震災では、家屋の倒壊および津波による被害により、約2千万トンの災害廃棄物、約1.1千万トンの津波堆積物が生じた。また、熊本地震での災害廃棄物発生量は、約100～130万トンと推計されている。また、南海トラフ地震で発生する災害廃棄物は最大で約2億5千万トン、津波堆積物は最大約5900万トンと想定されている。被災地域の復興のためには、災害廃棄物の早期の処理が必要である。

本研究では、災害廃棄物の輸送に関して、輸送計画を立案するための評価方法の構築を行う。すなわち、廃棄物処理過程を評価し、見直すことで効率的な輸送計画を立案することが可能となる。輸送計画の評価は、単一の評価指標でなく、多面的な評価が必要である。また、取り扱う指標には、あいまい量が多い。このため、ファジィ

測度を用いた評価方法を構築する。

## 2. 災害廃棄物輸送に関する事例整理

過去に行われた震災廃棄物輸送の事例を整理し、廃棄物輸送の評価に必要な項目を検討する。ここでは、東日本大震災の処理手順を整理する。災害廃棄物処理の基本フローを図-1に示す<sup>1)</sup>。

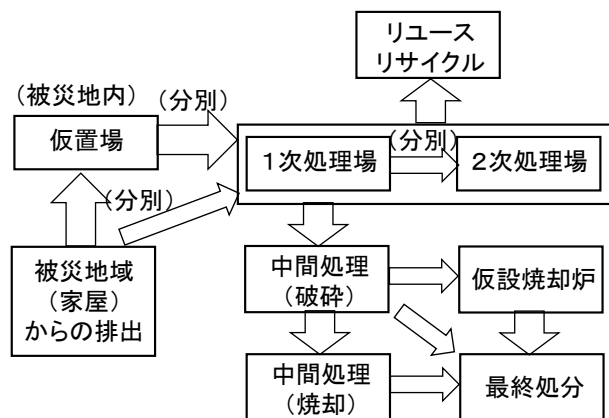


図-1 災害廃棄物処理の基本フロー

地震・津波により倒壊し、解体された建築物は、第1次処理場に集められる。この第1次処理場への輸送は、市町村から委託を受けた業者が行う。

また、第2次処理場では、分別・中間処理・焼却などが行われる。この輸送・処理は、県から委託を受けた業者が行う。

東日本大震災では、第1次処理場への搬入は生活環境に支障が生じうる災害廃棄物に関しては平成23年8月、その他の災害廃棄物に関しては平成24年3月までに行うことが目標とされていた<sup>2)</sup>。また、第2次処理場の処理の完了目標は、平成26年3月末とされていた。災害廃棄物の搬入率・処理割合の推移を図-2に示す。放射性物質による汚染が発生した福島県の一部の地域を除いて、目標期間内に処理が完了している。

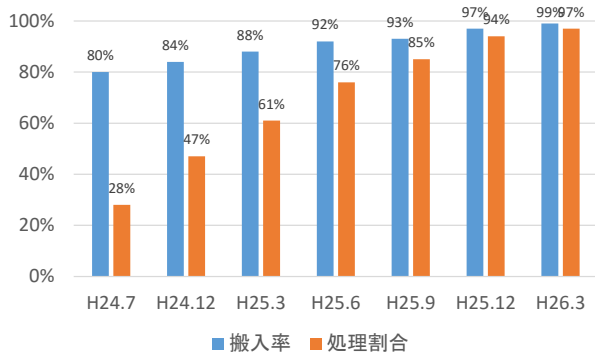


図-2 災害廃棄物の搬入率・処理割合の推移 (東日本大震災)

### 3. 災害廃棄物輸送に関する評価指標の設定

ここでは、第2章で整理した東日本大震災の事例を参考として、災害廃棄物輸送に関する評価項目を検討する。廃棄物輸送に関する評価は、多様な側面から行う必要がある。このため、表-1に示す4項目を設定する。

表-1 災害廃棄物輸送の評価項目

項目	内容
①廃棄物残留による不便益	被災地域・廃棄物仮置場に残留される廃棄物の早期の撤去により復興作業が進展する。
②輸送費用	廃棄物輸送に利用できるトラック台数、人員は限られており、効率的な輸送を行う。
③地域相互格差	公平性を確保した廃棄物処理を行う。地域ごとのアンバランスを解消する。
④安全運行	一般道路・高速道路を利用するトラックの交通事故発生を防止する。

被災地では復興作業が進められるが、災害廃棄物が被災地域・廃棄物仮置場に残留されている場合、施設建設などの妨げとなる。したがって、復興が遅れるとともに、

経済損失が発生する。このため、「①廃棄物残留による不便益」の評価指標を設定する。評価指標値は、(地代) × (廃棄物残留期間) で計算することが可能である。

つぎに、廃棄物輸送の費用を検討する。大規模震災の場合、廃棄物処理に関する費用は、最終的には国からの補助金で賄われ、自治体の負担はほとんど発生しない。しかしながら、廃棄物輸送に利用可能なダンプトラックなどの機材、人員は限られているため、効率的な輸送が必要である。このため、「②輸送費用」を設定する。これは、(出発地・目的地別輸送単価) × (輸送量) で計算する。

つぎに、廃棄物処理の地域格差を考える。自治体を実施する事業は、公平性が求められる。このため、特定の地域を優先した廃棄物処理は、地域住民の不満につながる。このため、「③地域相互の格差」を設定する。この評価値は、地域*i*の処理済み廃棄物量 $d_i(t)$ 、地域*i*の廃棄物総量 $q_i$ に対して、次式を用いて格差指標値  $s$  を計算する。

$$r_i(t) = \frac{d_i(t)}{q_i}, \quad \bar{r}(t) = \frac{1}{n} \sum_i r_i(t),$$

$$s = \frac{1}{T} \sum_i \left\{ \frac{1}{n} \sum_i (r_i(t) - \bar{r}(t))^2 \right\} \quad (1)$$

これは、地域の廃棄物処理量の分散の時間平均を表す指標である。

つぎに、廃棄物輸送の安全性を考える。廃棄物輸送は、一般車両が通行する一般道路・高速道路等を用いて行われる。このため、廃棄物輸送ダンプトラックが関係する交通事故などの発生が懸念される。このため、「④安全運行」を設定する。これは、廃棄物輸送トラックの交通事故発生件数の時間平均を用いて算定する。

これらの4指標を用いて、廃棄物輸送に関する総合評価を行う。

### 4. ファジィ積分を用いた評価手法

ここでは、廃棄物輸送の評価方法を検討する。本研究では、「測度におけるファジィネス」を扱うファジィ測度を用いて構築する。これは、いくつかの属性をもつ評価対象をファジィ測度により総合的に評価するための方法である。

表-1に示した4種類の評価値に対して、一対比較法を用いて各評価指標のウェイトを算定する。たとえば、一対比較行列がつぎのように与えられたとする。

$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & 4 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1/2 \\ 3 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

この一対比較行列より、各評価項目の重要度を算定すると、以下のようになる。

$$w = \{0.343, 0.151, 0.093, 0.413\}$$

このとき、ファジィ測度はつぎのように算定される。

$$\begin{aligned} g_1 &= 0.106, g_2 = 0.035, g_3 = 0.020, \\ g_4 &= 0.143, g_{12} = 0.196, g_{13} = 0.157, \\ g_{14} &= 0.476, g_{23} = 0.064, g_{24} = 0.251, \\ g_{34} &= 0.205, g_{123} = 0.273, g_{124} = 0.757, \\ g_{134} &= 0.636, g_{234} = 0.345, g_{1234} = 1 \end{aligned}$$

菅野積分では、 $h(x_1) \geq h(x_2) \geq \dots \geq h(x_n)$  の関数に対して、次式のように計算される。

$$\int_X h(x_i) \circ g(\bullet) = \bigvee_{i=1}^n [h(x_i) \wedge g(X_i)] \quad (2)$$

この計算は、Min-Max 演算に相当する計算方法である。

### 5. 震災廃棄物輸送に関する評価

つぎに、震災廃棄物輸送の評価例を示す。ここでは、表-2に示す4事例に関して検討する。

表-2 災害廃棄物輸送評価事例

	① 不 便 益	② 輸 送 費用	③ 地 域 格 差	④ 安 全 運 行
事例 A	950	700	0.15	1.70
事例 B	1300	600	0.10	1.30
事例 C	850	650	0.30	2.10
事例 D	750	750	0.05	0.75

このとき、各指標値に対してメンバシップ関数を設定する必要がある。評価指標「①不便益」に対するメンバシップ関数を図-3に示す。不便益が大きい場合にメンバシップ関数値は小さい右下がりの関数形である。

つぎに、評価指標「②輸送費用」に対するメンバシップ関数を図-4に示す。輸送費用に関しても、右下がりの関数形で設定する。

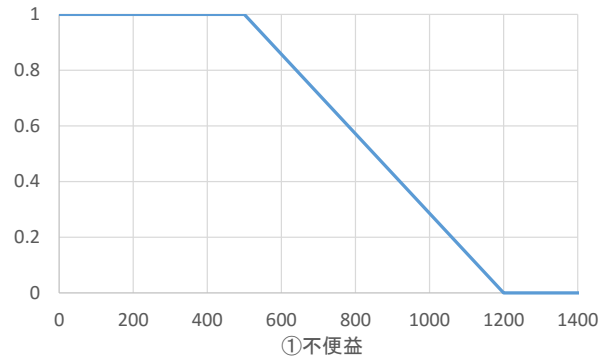


図-3 「①不便益」に対するメンバシップ関数

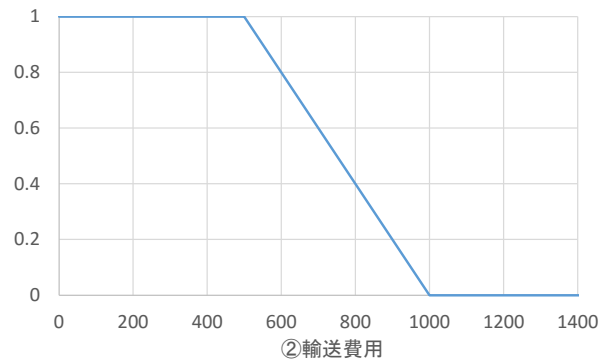


図-4 「②輸送費用」に対するメンバシップ関数

また、評価指標「③地域格差」に対するメンバシップ関数を図-5に示す。

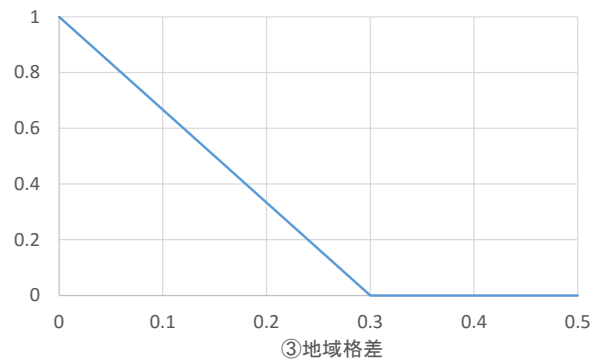


図-5 「③地域格差」に対するメンバシップ関数

地域格差は、ゼロを目指すことから、メンバシップ関数は、0の点から減少する関数を設定する。

つぎに、評価指標「④安全運行」に対するメンバシップ関数を図-6に示す。安全運行に関しても、ゼロを目指すことから、0の点から減少するメンバシップ関数を設定する。

これらのメンバシップ関数を用いて、メンバシップ値を求める。各事例のメンバシップ値を表-3に示す。

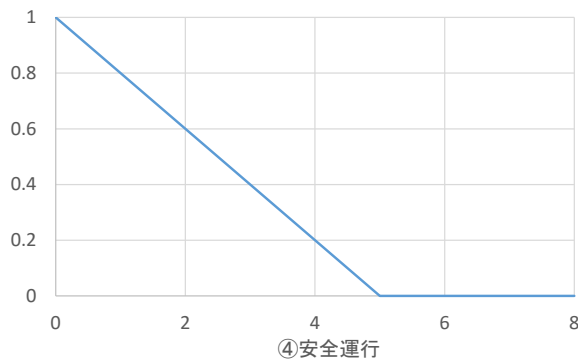


図-6 「④安全運行」に対するメンバシップ関数

表-3 各事例のメンバシップ値

	① 不便益	② 輸送費用	③ 地域格差	④ 安全運行
事例 A	0.357	0.600	0.500	0.660
事例 B	0.000	0.800	0.667	0.740
事例 C	0.500	0.700	0.000	0.580
事例 D	0.643	0.500	0.833	0.850

ここでは、事例 A に対する計算手順を示す。はじめに、4 指標のメンバシップ値を降順に並べる。これを基に、(1)~(5)の計算手順で求める。

1) 「④安全運行：0.660」と  $g_4 = 0.143$  の演算

$$\min(0.660, 0.143) = 0.143$$

2) 「②輸送費用：0.600」と  $g_{24} = 0.251$  の演算

$$\min(0.600, 0.251) = 0.251$$

3) 「③地域格差：0.500」と  $g_{234} = 0.345$  の演算

$$\min(0.500, 0.345) = 0.345$$

4) 「①不便益：0.357」と  $g_{1234} = 1$  の演算

$$\min(0.357, 1.000) = 0.357$$

5) Max 演算

$$\max(0.143, 0.251, 0.345, 0.357) = 0.357$$

したがって、事例 A に対する総合評価値は 0.357 と算定できる。同様に、事例 B, C, D に対して評価を行った結果を表-4に示す。

本表より、事例 D の評価値が最大である。事例 D は、②輸送費用は高額であるが、他の指標値は小さく、総合的に良い評価となっている。一方、事例 B は、輸送費用は安価であるが、評価項目のウェイトが比較的大きな①不便益が大きいため、悪い評価となった。

このように、総合的な評価が行えることがわかった。

表-4 各事例の評価結果

	評価値	評価順位
事例 A	0.357	3
事例 B	0.345	4
事例 C	0.500	2
事例 D	0.636	1

## 6. おわりに

本研究では、災害廃棄物の輸送に関して、輸送計画を立案するための評価方法の構築を行った。本研究の成果を以下に整理する。

- 1) 震災廃棄物輸送の評価指標として、「廃棄物残留による不便益」、「輸送費用」、「地域相互の格差」、「安全運行」の 4 指標を定義した。
- 2) 菅野積分を用いて震災廃棄物輸送の総合評価手法を構築した。これにより、あいまい性をもつ評価値に対して総合評価を行うことが可能となる。
- 3) 震災廃棄物輸送の事例に対する評価の数値計算例を示した。この結果、総合的な評価が行えることがわかった。

最後に本研究は、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://kouikishori.env.go.jp/disaster\\_waste/outline\\_processing/index.html](http://kouikishori.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) 宮城県：「災害廃棄物処理業務の記録」、2014。
- 5) 本多中二、大里有生：ファジィ工学入門、海文堂、pp. 119-135、1989。
- 6) 浅井喜代治：ファジィ経営科学入門、オーム社、pp. 43-54、1992。
- 7) 高萩栄一郎：ファジィ測度とファジィ積分モデルによる総合評価法、日本経営数学会誌、Vol. 31, No. 2, pp. 85-112、2010。
- 8) 秋山孝正、井ノ口弘昭、樋口吉隆、龍野恵則、岸野啓一：現実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、土木計画学研究・講演集、Vol. 53, 49-04、2016。

(2016. 7. 31 受付)