

(91) 災害廃棄物収集運搬モデルを用いた 災害廃棄物処理のシナリオ分析

坂口 直也¹・田内 裕人²・江種 伸之³・大塚 義一⁴・中野 正樹⁵

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学部システム工学研究科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930)

E-mail:s184024@center.wakayama-u.ac.jp

²正会員 和歌山大学助教 システム工学部 システム工学科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930)

³正会員 和歌山大学教授 システム工学部 システム工学科 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930)

⁴正会員 株式会社奥村組 土木本部 (〒545-8555 大阪府大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2)

⁵フェロー会員 名古屋大学大学院教授 大学院工学研究科 土木工学専攻
(〒464-0814 愛知県名古屋市千種区不老町)

本研究では災害廃棄物処理計画の策定支援システムの開発を目標とし、詳細なシナリオ分析が可能な災害廃棄物収集運搬モデルの開発を行った。本モデルは災害廃棄物の収集運搬過程と破碎・分別過程を考慮し、災害廃棄物の発生地点、仮置場および最終処分場における廃棄物量の変化を追跡するものである。また提案したモデルを活用し、災害廃棄物の各収集運搬経路に設定可能な輸送能力を対象にシナリオ分析を行った。その結果、災害廃棄物の分別・搬出作業の終了に伴い各収集運搬経路で生じる輸送能力の余剰を他収集運搬経路に再配分することが、被災地全体での災害廃棄物の処理日数短縮に寄与することが分かった。また輸送能力の再配分方法により、被災地からの搬出に要する日数や全災害廃棄物の処理に要する日数が変動することがわかった。

Key Words: disaster waste , hauling/transportation model , scenario analysis , waste management

1. はじめに

大規模災害の発生時に生じる問題の一つに、災害廃棄物の大量発生が挙げられる。災害廃棄物は放置しておくとも土壌汚染などの環境被害や仮置場の火災¹⁾などの要因となるため、災害廃棄物の処理は適切かつ迅速に実施することが重要である。災害廃棄物処理計画の策定では、廃棄物の質・量を正確に把握し、被災地域や仮置場、そして最終処分場を収集運搬経路で結び、災害廃棄物の流れを包括的に追跡・把握可能なシステムが必要となる。

しかし、処理計画策定支援システムの開発に関する研究は少なく、古市ら²⁾のモデルがあるのみである。古市らのモデルは物質収支モデルと収集運搬モデルにより災害廃棄物の処理をモデル化することで処理日数および処理に要するコストを最小にするものである。しかしこのモデルでは処理計画を状況に合わせて柔軟に変更していくことや、有害な災害廃棄物を優先的に処理するといった、詳細なシナリオ分析が困難である。

そこで本研究では、こうしたシナリオ分析が可能な災害廃棄物処理計画の策定支援システムの開発を目標に、災害廃棄物処理における廃棄物の輸送計算を行う災害廃

棄物収集運搬モデルを提案する。また本研究で提案したモデルを用いて、災害廃棄物処理の進捗に伴い各収集運搬経路の輸送能力を動的に配分する複数のシナリオを設定し、輸送能力の再配分が災害廃棄物処理の所要日数に与える影響を評価する。

2. モデルの概要

災害廃棄物は一般に、以下のような流れ³⁾で処理される。まず、(1)災害廃棄物は小学校区ごとに一時集積所へ集積された後、一次仮置場へ輸送される。ここで一時集積所とは、被災現場から解体撤去を行った際にその災害廃棄物を一時的に保管しておく場所を指す。次いで、(2)一次仮置場に搬入された災害廃棄物は、手作業か重機を用いた粗分別が行われた後、焼却処理や埋立処分などが行われるまで仮置きされる。また、(3)一次仮置場での処理が不十分な災害廃棄物は、二次仮置場へと輸送される。(4)二次仮置場に搬入された災害廃棄物は、自動選別機などで破碎・選別処理が行われ、一次仮置場と同様に仮置きされる。(5)一次仮置場、二次仮置場で仮

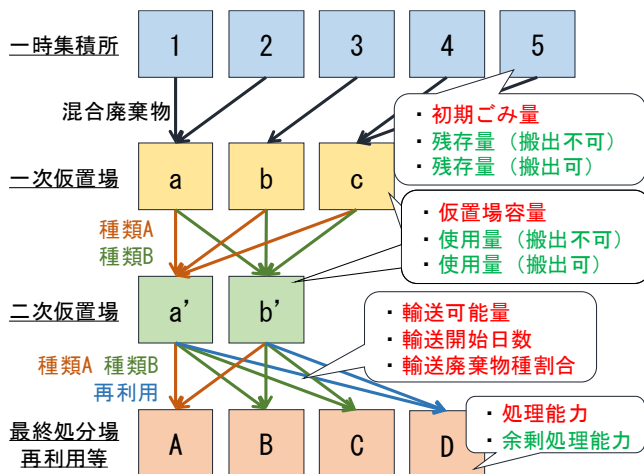


図-1 モデルの概念図

置きされた災害廃棄物は、焼却処理や埋立処分などを行うために最終処分場へと輸送される。また(6)仮置きされている災害廃棄物は有効活用することが望ましいため、復興資材として有効利用される場合もある⁴⁾。

本研究では以上の災害廃棄物の処理フローをモデル化した。本研究で開発したモデルの概念図を図-1に、また本モデルで設定したパラメータの一覧を表-1に示す。各一時集積所にはパラメータとして廃棄物種ごとの“初期ごみ量”を設定する。また各一次仮置場、および二次仮置場にはパラメータとして、“仮置場容量”を設定する。ここで仮置場容量とは、その仮置場が仮置きできる最大の廃棄物量を指す。各最終処分場にはパラメータとして、その最終処分場が災害廃棄物の処理に割くことのできる“処理能力”を設定する。また収集運搬経路にはパラメータとして“輸送可能量”，“輸送開始日数”を設定する。ここで輸送可能量とは、各経路における単位時間あたりの災害廃棄物輸送量である。また輸送開始日数とは、被災等の理由により発災直後に各仮置場や最終処分場への搬入が不可能となる場合を考慮し、各施設の使用開始日として設定するパラメータである。

また災害廃棄物は様々な廃棄物種が混在した状態で発生し、各一時集積所、一次仮置場や二次仮置場では破碎・分別処理等を行うため、各施設に搬入された災害廃棄物が搬出可能な状態となるまでに時間を要する。本モデルではこの作業を搬出可能変換作業と定義し、その作業効率を“搬出可能変換量”としてパラメータ化、各施設に個別に設定した。搬出可能変換作業の概念図を図-2に示す。一時集積所が有する災害廃棄物量を“残存量（搬出不可）”と“残存量（搬出可）”に分け、残存量（搬出不可）から残存量（搬出可）への変換を搬出可能変換量により算出する。また一次仮置場や二次仮置場では有する災害廃棄物量を“使用量（搬出不可）”と“使用量（搬出可）”に分け、使用量（搬出不可）から使用量（搬出可）への変換を搬出可能変換量により算出する。

さらに、災害廃棄物処理では一般に、災害廃棄物種

表-1 輸送処理を制御するパラメータ

初期ごみ量	各一時集積所に集積される災害廃棄物量の初期値、一時集積所ごとに設定する [t]
仮置場容量	各施設で保管可能な災害廃棄物の最大量、一次仮置場および二次仮置場ごとに設定する [t]
処理能力	一日に処理できる災害廃棄物量、最終処分場ごとに設定する [t/day]
輸送可能量	単位時間内に搬出先へ輸送できる廃棄物量、搬出経路ごとに設定する [t/hour]
搬出可能変換量	各施設に災害廃棄物が搬入され同施設から搬出可能となるまでの作業効率、各一時集積所、一次仮置場および二次仮置場に設定する [t/hour]
残存量（搬出不可）	一時集積所に搬入されたものの、搬出可能とするための各種処理が終わって搬出できない災害廃棄物量、一時集積所ごとに設定する [t]
残存量（搬出可）	搬出可能とするための処理が終わっており搬出可能な状態の災害廃棄物量、一時集積所ごとに設定する [t]
使用量（搬出不可）	一次仮置場および二次仮置場に搬入されたものの、搬出可能とするための各種処理が終わって搬出できない災害廃棄物量、一次仮置場および二次仮置場ごとに設定する [t]
使用量（搬出可）	搬出可能とするための各種処理が終わっており搬出可能な状態の災害廃棄物量、一次仮置場および二次仮置場ごとに設定する [t]
余剰処理能力	ある最終処分場がある時間においてその日のうちに処理できる廃棄物量、最終処分場ごとに設定する [t]

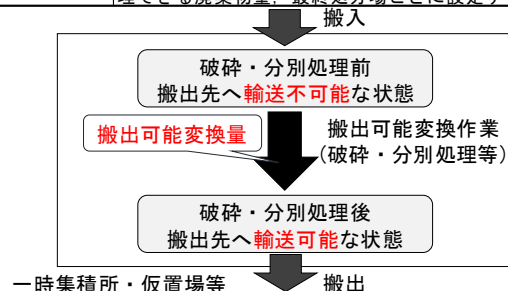


図-2 搬出可能変換作業の概念

によって処理の流れが異なる。例えば一般に可燃物は焼却処理されるのに対し、金属くずやコンクリートがら等の不燃物は埋立処分を行う³⁾。このような処理の流れの違いを反映させるため、各施設での災害廃棄物量および収集運搬経路は廃棄物種ごとに計算・設定できるようにした。また一時集積所から一次仮置場へ廃棄物を輸送する場合など、多くの廃棄物種が混在した状態で輸送される。このため様々な種類の廃棄物が混在した災害廃棄物の輸送についてもモデル中に考慮する必要がある。よって本モデルでは、輸送する災害廃棄物に対して種別ごとに構成比を設定できるようにした。

3. 災害廃棄物処理のシナリオ分析

まず、本研究で提案したモデルを活用し、一次集積所から災害廃棄物がすべて搬出されるのに要した日数（以下、集積完了日とする）と発生した災害廃棄物が全て最終処分場で処理されるまでに要した日数（以下、処理完了日とする）を計算した。ここで、モデルの初期設定として、一時集積所、一次仮置場、二次仮置場および最終処分場をそれぞれ12箇所、5箇所、3箇所および2箇所設定した。また、本解析で設定した一時集積所の初期ごみ量、一次仮置場および二次仮置場の容量、最終処分場の処理能力、最終処分場を除く各施設の搬出先施設、本

表-2 シナリオ分析における初期条件

一時集積所名	搬出先	初期ごみ量[t]
1	a	100000
2	a	200000
3	a	600000
4	b	200000
5	b	100000
6	c	800000
7	d	200000
8	d	400000
9	e	900000
10	e	50000
11	e	100000
12	e	200000

一次仮置場名	搬出先	仮置場容量[t]
a	a'	400000
b	a'	300000
c	b'	500000
d	b'	300000
e	c'	900000

二次仮置場名	搬出先	仮置場容量[t]
a'	A, B	600000
b'	A, B	500000
c'	A, B	400000

最終処分場名	処理能力[t/day]
A	1500
B	1000

廃棄物種	構成比[%]
種類A	10
種類B	15
種類C	20
種類D	25
種類E	30

表-3 輸送能力の余剰配分シナリオ

シナリオ	概要
1	再配分なし
2	搬出が完了していない収集運搬経路へ均等配分
3	搬出が完了していない収集運搬経路のうち、廃棄物量（搬出不可と搬出可の和）が最も大きい施設からの収集運搬経路に全配分
4	搬出が完了していない収集運搬経路のうち、廃棄物量（搬出可のみ）が最も大きい施設からの収集運搬経路に全配分
5	輸送が完了していない収集運搬経路のうち、廃棄物量（搬出不可と搬出可の和）が最も大きい施設からの収集運搬経路に全配分。ただし一時集積所からの搬出経路を優先する

解析で設定した初期ごみ量の各廃棄物種ごとの構成比をそれぞれ表-2 に示す。さらに、輸送可能量は全経路で一律 20th、搬出可能変換量を 10 th~50 th としてモデル実験を行った。本結果を図-3 のシナリオ 1 として示す。なお、一次仮置場で分別された災害廃棄物は一般に、廃棄物種に基づき異なる二次仮置場に集約されが、本研究では簡素化のため廃棄物種に基づき二次仮置場を分類しない。本結果から、搬出可能変換量が増加するに従い、集積完了日および処理完了日が減少することが示され、現実的なモデル解析結果となることが確認された。

さらに、ある経路において収集運搬作業がすべて完了した場合、その経路では輸送可能量を設定しているにもかかわらず輸送が行われなくなり、輸送能力の余剰が発生する。この余剰を輸送が完了していない他経路へ配分することで、災害廃棄物処理全体の完了時間を短縮できると考えられる。また、輸送能力の再配分の方法により、処理完了までの日数に変化が生じると考えられる。そこで、効果的な輸送能力の余剰配分方法を検討することを目的に、処理の進捗に従い輸送可能量を変化させる複数のシナリオを設定し、シナリオ分析を実施した。

本シナリオ分析で設定した各シナリオの概要を表-3 に示す。(1)シナリオ 1 は他経路に余剰の配分を行わない場合を示す。(2)シナリオ 2 は輸送能力の余剰を、輸送が完了していない全ての経路に均等に配分する場合を示す。(3)シナリオ 3 は輸送能力の余剰を、廃棄物量が最も多い施設からの収集運搬経路へすべて配分する。なお、廃棄物量とは、搬出元が一時集積所であれば残存量（輸送不

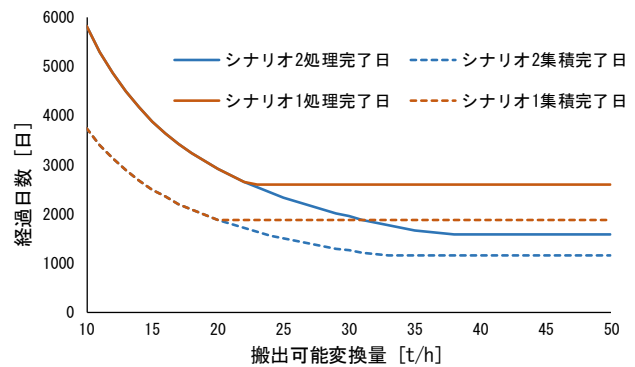


図-3 シナリオ 1 とシナリオ 2 の比較

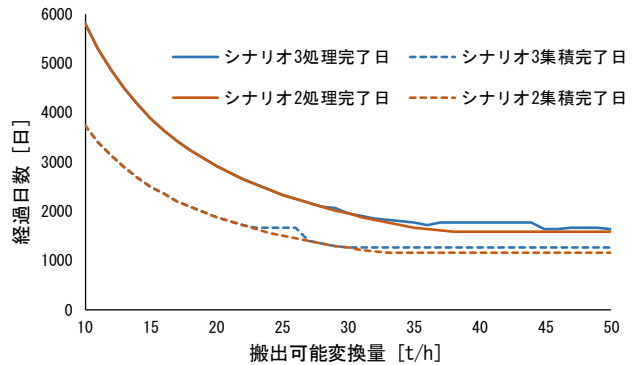


図-4 シナリオ 2 とシナリオ 3 の比較

可）と残存量（輸送可）の和、搬出元が一次仮置場または二次仮置場であれば使用量（輸送不可）と使用量（輸送可）の和として算出する。(4)シナリオ 4 では、輸送能力の余剰を余剰発生時に残存量（輸送可）または受入量（輸送可）が最も多い施設からの収集運搬経路にすべて配分する。(5)シナリオ 5 はシナリオ 3 と同様に、輸送能力の余剰を余剰発生時点で廃棄物量が最も多い施設からの収集運搬経路に均等に配分するものであるが、全一時集積所から廃棄物の搬出が完了していない場合には、余剰の配分先を一時集積所からの収集運搬経路に限定する。

4. 結果と考察

シナリオ 1 とシナリオ 2 における集積完了日および処理完了日を図-3 に示す。シナリオ 1 とシナリオ 2 の処理完了日を比較すると、搬出可能変換量が 22th 以下であれば両シナリオの結果は同じであったが、搬出可能変換量が 22th よりも大きくなるとシナリオ 2 の処理完了日がシナリオ 1 より小さくなり、最大で 1000 日程度の差が生じた。また集積完了日に関しても同様に、搬出可能変換量が 21th 以下ではシナリオ 1 とシナリオ 2 で同じ値となったが、それ以上の場合にシナリオ 2 の方が小さく、最大で 700 日程度の差が生じた。以上により、搬出可能変換量が 20th よりも大きくなると、動的な輸送能力の再配分が処理完了日の短縮に寄与することがわかった。

次にシナリオ 2 とシナリオ 3 における集積完了日およ

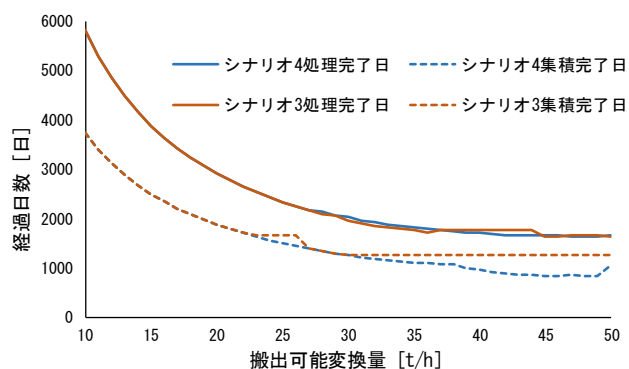


図-5 シナリオ3とシナリオ4の比較

び処理完了日を図-4 に示す。両シナリオの処理完了日を比較すると、シナリオ2で処理完了日が小さくなる傾向がみられ、この差は最大で約200日となった。また集積完了日においても同様の傾向が確認でき、この差は最大で約100日となった。以上により、輸送能力の余剰を全経路へ均等配分する場合と一経路に集中配分する場合とでは、搬出・処理に要する日数が異なることがわかった。またシナリオ3ではシナリオ2と比較して、搬出可能変換量が26t/hとした際に集積完了日が約200日、搬出可能変換量が40t/hとした際に処理完了日が約200日遅くなるなど、搬出可能変換量によっては両シナリオ間で日数に大きな差が生じた。これは搬出可能変換量の変化に伴い、輸送能力の再配分する時期が変わることで再配分の経路も変化したためと考えられる。また、シナリオ2では搬出可能変換量の増大に伴い連続的に集積完了日および処理完了日が小さくなった。この理由としては、輸送能力が均等配分されたため、搬出可能変換量の変化に伴う輸送能力の偏りが生じなかったことが考えられる。

次いで、シナリオ3とシナリオ4の集積完了日と処理完了日を図-5 に示す。両シナリオを比較すると、処理完了日の差は搬出可能変換量によらず小さいものの、集積完了日の差は最大400日程度と大きくなった。またシナリオ4では搬出可能変換量が49t/hから50t/hに増大したにもかかわらず、集積完了日が200日程度遅くなっている。これは搬出可能変換量の増加に従い、輸送能力を再配分するタイミングが変わったことで、再配分が集積完了日の短縮に効果的でない経路に対して行われ、結果として最終的な集積完了日が遅れたものと考えられる。

最後にシナリオ3とシナリオ5における集積完了日・処理完了日を図-6 に示す。両シナリオを比較すると、処理完了日はシナリオ3が一般に小さく、一方で集積完了日はシナリオ5が小さくなった。ここから輸送能力の余剰を一時集積所からの収集運搬経路へ優先的に配分することで、処理完了日は大きくなるものの集積完了日は小さくなることが確認された。またシナリオ5はシナリオ3とは異なり、搬出可能変換量の増大に従い処理完了日および集積完了日が滑らかに小さくなった。これは配

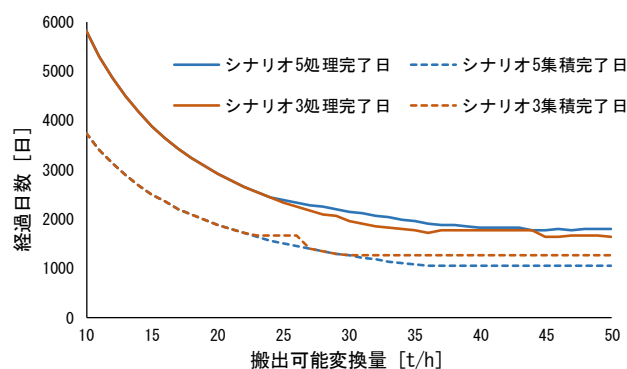


図-6 シナリオ3とシナリオ5の比較

分対象経路を限定することで、輸送能力の余剰を配分する対象経路が極端に変化しなかったためと考えられる。

5. おわりに

本研究では災害廃棄物処理計画策定の支援システム開発を目標として災害廃棄物収集運搬モデルの開発を行った。本モデルは分別・破碎処理等に要する時間や廃棄物種ごとの処理フローを考慮可能なモデル構造である。また輸送能力の余剰の配分について、複数のシナリオ分析を行い、輸送能力の余剰の配分方法の違いが災害廃棄物処理の結果に与える影響を評価した。その結果、輸送能力の余剰を動的に配分することで処理までの日数を削減できること、配分方法の違いで処理に要する日数に差が生じることが示された。今後は、廃棄物種の構成比が一定であるなど、実際の災害廃棄物処理と異なる点についてモデルへの反映を検討する。加えて、東日本大震災などの大規模災害における災害廃棄物の処理実績を本モデルで再現し、本モデルの有用性を検証する予定である。

謝辞：本研究は、環境省の環境研究総合推進費(3K163011)により実施された。

参考文献

- 1) 古積博：廃棄物の蓄熱火災事例と危険性評価，安全工学，Vol.47，No.6，pp.385-391，2004.
- 2) 古市徹，長谷川誠，菅しのぶ，橋詰博樹，小林康彦：災害廃棄物収集運搬システムの開発におけるモデル化とシミュレーション，廃棄物学会誌，Vol.9，No.2-3，pp.69-78，1998.
- 3) 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—東日本大震災を踏まえて，pp.52-54，株式会社ぎょうせい，2012.
- 4) 勝見武，遠藤 和人，乾徹：東日本大震災により発生した災害廃棄物・津波堆積物の処理と有効利用について，地下水学会誌，Vol.55，No.1，pp.29-35，2013.