

一般廃棄物処理計画における収集・運搬の最適化に関する実証的研究*

—岡山市・玉野市を対象として—

A study on the optimal plans of collecting and transporting combustible waste considering locations of disposal facilities in Okayama and Tamano City

松中 亮治**・谷口 守***・板垣 大介****

by Ryoji MATSUNAKA・Mamoru TANIGUCHI・Daisuke ITAGAKI

1. 背景と目的

近年の廃棄物処理に関する問題として、収集品目の細分化や交通事情の悪化等の理由による収集・運搬の効率の低下や、NIMBY(NOT In My Back Yard)といった言葉に表されるように、中間処理施設や最終処分場の用地確保難による遠隔地への立地等が挙げられる。その一方で、持続可能な循環型社会を形成することが求められおり、生産・流通・消費によって社会にもたらされる大量の廃棄物を効率的に再生する、あるいは中間処理を行う必要がある。そのため、モノの流れにおける静脈である廃棄物処理において、必要不可欠なプロセスである収集・運搬の効率化に対する要請は極めて大きく、実際、廃棄物処理を実施している各自治体においては、収集・運搬プロセスの効率化や、環境省が推奨している各自治体の連携による廃棄物処理の広域化¹⁾は循環型社会を形成するために取り組むべき重要な課題の一つとなっている。

上記のような背景を踏まえ、本研究では、筆者らが先行研究²⁾で構築したシミュレーションシステムを改良し、実際の都市を対象として一般廃棄物処理を再現可能とした廃棄物輸送シミュレーションシステムを構築する。そして、構築したシステムを用いて、平成17年3月の合併前の旧岡山市、旧御津町、旧瀬崎町(以下岡山市)及び近隣の玉野市を分析対象として、更新時期にある処理施設の建て替えや岡山市と玉野市の連携によるごみ処理の広域化、中継施設の導入など、いくつかの具体的なシナリオを設定し、処理費用の観点から、一般廃棄物処理計画における最適な収集・運搬計画を探索する。

2. シミュレーションシステムの概要

(1) 一般廃棄物処理費用の定式化

本研究では、一般廃棄物処理費用を(式-1)に示すように定式化し、(式-2)～(式-4)を制約条件として、処理費用が最小となる廃棄物処理計画を探索する。なお、(式-1)の第1項は施設費用、第2項と第3項は収集・運搬費用

を意味する。収集・運搬費用のうち第2項は車両費用及び人件費用を、第3項は収集・運搬に要する燃料代、すなわち走行費用をそれぞれ意味する。また、(式-2)は全ての地区のごみを回収すること、(式-3)は作業時間制限を意味し、収集・運搬に要する時間と各地区での収集に要する時間の合計は360分以内とすること、(式-4)は各地区から収集された一般廃棄物量が各施設の焼却能力を上回ることがないという制約を意味している。

Minimize

$$\begin{aligned} & GC(F_N, C_N, \delta_{1,1}, \delta_{1,2}, \Lambda, \delta_{1,A}, \delta_{2,1}, \Lambda, \delta_{2,A}, \Lambda, \delta_{k,1}, \Lambda, \delta_{k,A}) \\ &= \sum_{i=1}^{F_N} \left(F_{iC} / F_Y + F_{iMC} \times \sum_{k=1}^{C_N} \delta_k \times f / 7 \times 365 \right) \quad (\text{式-1}) \\ &+ (C_C / C_Y + P_C \times P_N) \times C_N \\ &+ \sum_{k=1}^{C_N} C_{RC}(\delta_{k,1}, \delta_{k,2}, \Lambda, \delta_{k,A}, \Lambda, \delta_{k,A}) \times f / 7 \times 365 \end{aligned}$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^{C_N} \delta_{k,a} = 1 \quad (\text{for all } a) \quad (\text{式-2})$$

$$\begin{aligned} & C_T(\delta_{k,1}, \delta_{k,2}, \Lambda, \delta_{k,A}, \Lambda, \delta_{k,A}) + A_T(\delta_{k,1}, \delta_{k,2}, \Lambda, \delta_{k,A}, \Lambda, \delta_{k,A}) \\ &+ \sum_{k=1}^{C_N} F_T(\delta_{k,1}, \delta_{k,2}, \Lambda, \delta_{k,A}, \Lambda, \delta_{k,A}) + F_{WT} \times \delta N_k \\ &\leq 360 \quad (\text{for all } k) \quad (\text{式-3}) \end{aligned}$$

$$\sum_{k=1}^{C_N} \delta_k \leq \sum_{i=1}^{F_N} F_{iCA} \quad (\text{式-4})$$

ただし、

GC:一般廃棄物処理費用(万円/年), FN:施設数, $\delta_{k,a}$:車両 k が地区 a を収集するなら 1, 収集しないなら 0, k :車両番号, CN:収集車両数, F_{iC} :施設建設費用(万円), F_Y :施設耐用年数(年), F_{iMC} :施設運営費用(万円/t), C_C :車両費用(万円), C_Y :車両耐用年数(年), P_C :人件費用(万円/年), P_N :総人員数, C_{RC} :走行費用(万円/日), δ_k :車両 k が収集する一般廃棄物量(t/日), f :一週間当たりの収集回数(日/週), a :地区番号, C_T :地区間移動時間(分), A_T :地区での一般廃棄物積み込み時間(分), F_T :焼却施設での一般廃棄物積み降ろし時間(分), F_{WT} :焼却施設での一般廃棄物積み降ろし待ち時間(分), δN_k :車両 k が焼却施設での一般廃棄物の積み降ろしを待つ回数, F_{iCA} :施設 i の焼却能力(t/日)

(2) 収集・運搬費用の算出方法

本研究では、各町丁目の人口に基づき、ごみステーション数を比例配分して配置している。また、各ごみステ

*キーワード: 地域環境問題, 廃棄物処理計画

** 正会員 博(工) 岡山大学環境学研究所

*** 正会員 工博 岡山大学環境学研究所

**** 山口県土木職

ーション間の移動経路に関しては、Dijkstra 法を用いて所要時間が最短となる経路を探索している。ここで、本研究で対象とした道路ネットワークを図-1に示す。本研究の道路ネットワークは、分析対象都市の主要交差点だけでなく、より詳細な地区道路の交差点までをほぼ網羅し、国道をはじめ県道、主要地方道を含む18,806 ノード、27,003 リンクによって構成されている。また、道路交通センサス対象リンクのリンク間移動速度に関しては、平成11年度道路交通センサスの交通量からQ-V式を用いて算出している。

また、本研究では各ごみステーションの収集順序及び回収したごみの運搬先の最適化を行うが、その際、離散的組み合わせ最適化問題の優れた解法の一つである遺伝的アルゴリズム (GA) を用いることとした。そして、ごみステーションの収集順序ならびに運搬先を、ごみステーションを現す11,740個の遺伝子、運搬先の処理施設の切り替えを現す4個の遺伝子で表現し、(式-1)を用いて、一般廃棄物処理費用が最小となる最適解を探索している。

3. 最適化のための前提条件

(1) 分析シナリオの設定

シナリオ (1)：現況施設配置

シナリオ (1) では現在の岡山市・玉野市での焼却施設配置を再現する。つまり、焼却施設として岡山市東部クリーンセンター（以下、東部施設）、岡山市岡南環境センター（以下、岡南施設）、岡山市当新田環境センター（以下、当新田施設）、玉野市東清掃センター（以下、玉野市施設）の4施設が現在の位置に存在するものとする。シナリオ (2)：玉野市施設なし

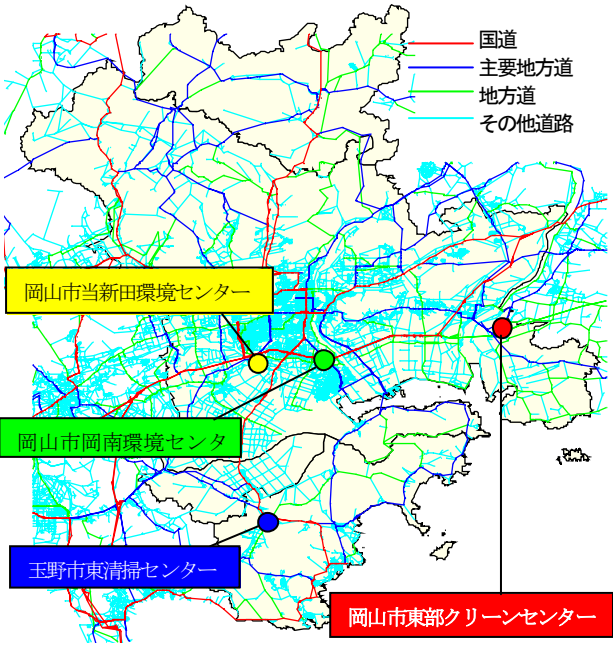


図-1 岡山市・玉野市の道路ネットワーク図

シナリオ (2) では更新時期にある玉野市施設の建て替えを行わず廃止したと仮定した。つまり、焼却施設として、東部施設、岡南施設、当新田施設の3施設が存在するものとする。

シナリオ (3)：玉野市中継施設導入

シナリオ (3) ではシナリオ (2) と同様に、玉野市施設を焼却施設としての建て替えを行わない。つまり、焼却施設として、東部施設、岡南施設、当新田施設の3施設が存在するものとする。しかし、玉野市施設跡地に玉野市中継施設を新規に建設し、中継輸送の導入が一般廃棄物処理費用の低減に効果があるかの検討を行う。

シナリオ (4)：玉野市東清掃センター建て替え

シナリオ (4) では玉野市施設の建て替えを行う。その際、現在の処理能力で建て替えを行うのではなく、東部施設と同規模の大型焼却施設として建て替えることとする。また、それと共に、不要となった岡南施設、当新田施設のいずれかを岡山市中継施設として建て替え、新玉野市施設まで中継輸送することとする。

(2) 費用に関する各種設定

費用に関する各種設定を表-1に示す。ここで、施設建設費用に関しては、一般的な焼却施設建設費用を用いて算定しており、焼却施設運転費用に関してはO市の実際の費用データを用いている。その他の値に関しては、筆者らが環境省のデータ等⁴⁾を用いて設定した。

表-1 費用に関する各種設定一覧

項目	値	単位
焼却施設処理能力	岡山市 東部クリーンセンター	450.0
	岡南環境センター	220.0
	当新田環境センター	300.0
	玉野市 東清掃センター	150.0
中継施設処理能力	東部クリーンセンター	210.0
焼却施設建設費用	岡山市 東部クリーンセンター	167.0
	岡南環境センター	130.5
	当新田環境センター	146.3
	玉野市 東清掃センター	110.8
中継施設建設費用	東部クリーンセンター	51.0
焼却施設耐用年数	岡山市 東部クリーンセンター	20.0
	岡南環境センター	20.0
	当新田環境センター	20.0
	玉野市 東清掃センター	20.0
中継施設耐用年数	東部クリーンセンター	20.0
焼却施設メンテナンス費用	岡山市 東部クリーンセンター	2.5
	岡南環境センター	1.5
	当新田環境センター	2.0
	玉野市 東清掃センター	1.0
中継施設メンテナンス費用	東部クリーンセンター	0.5
焼却施設人件費用	岡山市 東部クリーンセンター	5.8
	岡南環境センター	2.8
	当新田環境センター	3.9
	玉野市 東清掃センター	1.9
中継施設人件費用	東部クリーンセンター	2134.0
中継施設施設運転費用原単位	岡南環境センター	3986.0
一般廃棄物焼却費用原単位	当新田環境センター	7936.0
収集車両	最大積載量	2.0 t
	購入費用	660.0 万円
	耐用年数	8.0 年
	乗車人数	3.0 人
運搬車両	最大積載量	10.0 t
	購入費用	1220.0 万円
	耐用年数	8.0 年
	乗車人数	1.0 人
収集車両燃料消費率	東部クリーンセンター	5.0 km/l
運搬車両燃料消費率	岡南環境センター	2.5 km/l
軽油価格	当新田環境センター	100.0 円/l
人件費用	玉野市 東清掃センター	597.0 万円/年

4. 各シナリオの探索結果

(1) 費用に関する比較・考察

本研究における探索結果を表-2に示す。また、各シナ

リオにおいて、各ごみステーションからどの焼却施設に運搬されているかを示したものを図2~5に示す。

表-2に示すように、本研究の探索結果から、シナリオ(2)の一般廃棄物処理費用が最小となっており、東部施設、岡南施設、当新田施設の3施設で岡山市及び玉野市の一般廃棄物処理を行うことが費用の面では最適な一般廃棄物処理計画であるとの結果となった。

シナリオ(2)が費用最小となった要因としては、表-2に示すように、玉野市施設を建て替えないことにより施設費用が低下していることが挙げられる。また、シナリオ(2)の次に費用の小さなシナリオであるシナリオ(4)は、シナリオ(2)と同様に施設数が3となっていることから、シナリオ(2)と同程度の施設費用となっている。しかし、表-2に示すように、シナリオ(4)では、

表-2 各シナリオの総費用内訳

シナリオ	総費用 (万円/ 年)	施設費用(万円/年)					収集・運搬費用(万円/年)			
		計	施設 建設 費用	施設 メンテ ナンス 費用	施設 人件 費用	施設 運転 費用	計	車両 購入 費用	走行 費用	収集・運 搬 人件費用
(1) 現況施設配置	837.102	724.931	277.310	70.000	144.640	232.981	112.172	4,832	2,438	104.901
(2) 玉野市施設なし	747.802	640.124	221.875	60.000	125.268	232.981	107.678	4,644	2,226	100.808
(3) 玉野市中継施設導入	836.552	725.821	247.375	65.000	152.867	260.579	110.731	5,469	2,749	102.513
(4) 玉野市東清掃センター建て替え	760.309	630.709	192.510	55.000	128.080	255.119	129.600	6,105	3,754	119.741

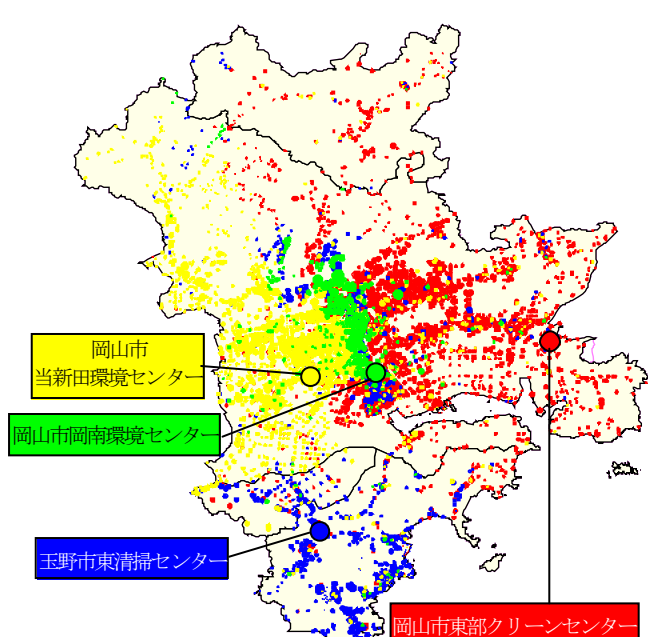


図-2 各ごみステーションの運搬先図 (シナリオ (1))

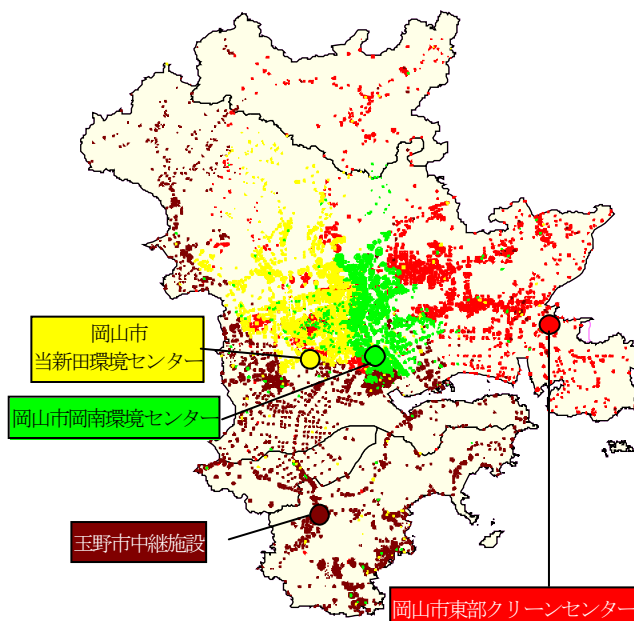


図-4 各ごみステーションの運搬先図 (シナリオ (3))

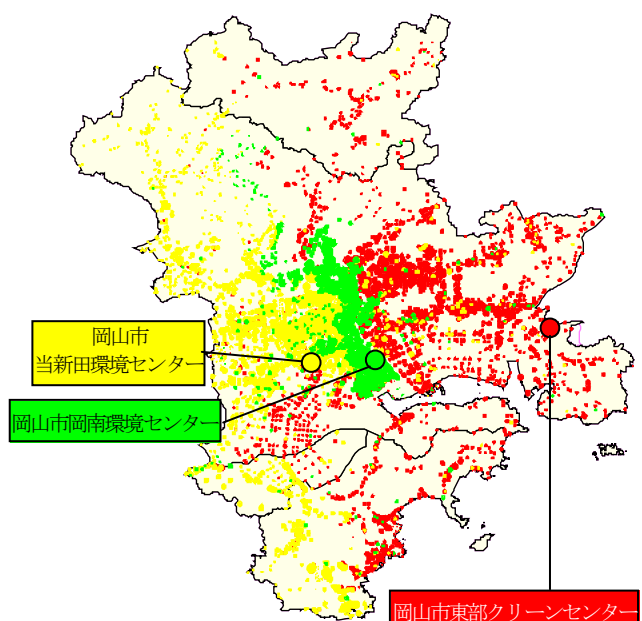


図-3 各ごみステーションの運搬先図 (シナリオ (2))

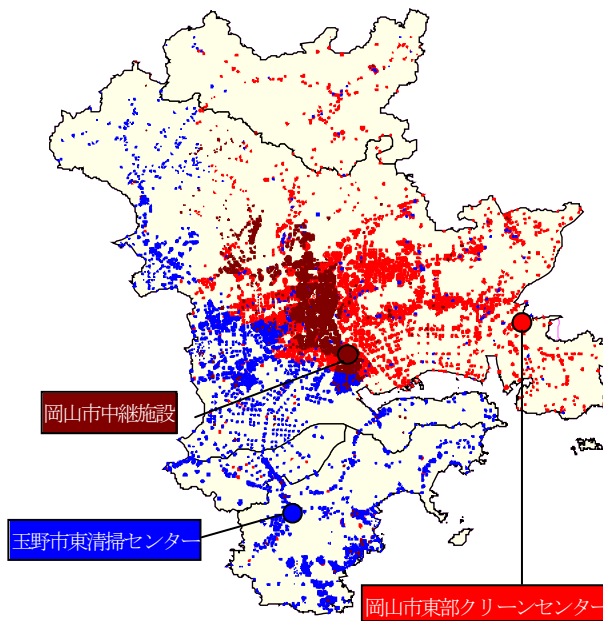


図-5 各ごみステーションの運搬先図 (シナリオ (4))

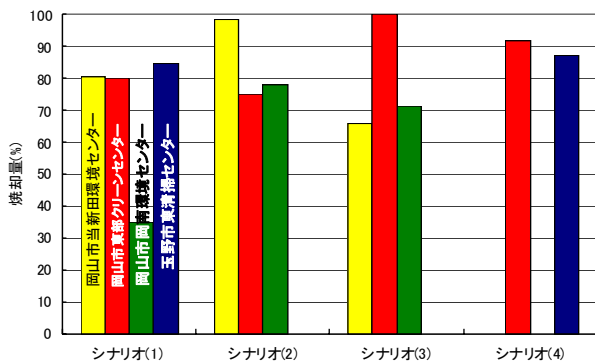


図6 各施設の焼却率 (処理量/処理能力)

岡南施設から玉野市施設への中継輸送を導入したことによる収集・運搬費用の低減効果があまり現れていないこと、また、図-5に示すように、岡山市北西部から玉野市施設まで運搬する計画となったことによる収集・運搬費用の増大から、結果的に収集・運搬費用が大きな計画となったため、総費用もシナリオ (2) より大きな計画となっている。

一方で、一般廃棄物処理費用が最大となったのは、現在の岡山市及び玉野市に存在する焼却施設配置を再現したシナリオ (1) である。ここで、各シナリオにおいて、各施設への収集量を各施設の処理能力で除したものを図-6に示した。図-6に示すように、シナリオ (1) では、岡南施設での処理量が非常に小さくなっており、処理能力に対して35%しか稼働していないことになっている。一つでもこのように稼働率の低い焼却施設が存在すると、その施設に起因する処理量当たりの施設費用の上昇を招き、結果的に一般廃棄物処理費用が大きな計画となっている。また、シナリオ (3) では、著しく稼働率の低い焼却施設はないが、中継輸送の導入により施設費用が最大のシナリオとなっている。また、シナリオ (3) の収集・運搬費用に関して、シナリオ (1) と比較すると、玉野市施設が玉野市中継施設に建て替えられ、中継輸送の導入により収集・運搬費用の若干の改善は見られた。しかし、玉野市に施設が存在しないシナリオ (2) と比較して、収集・運搬費用が改善されておらず、シナリオ (3) は施設費用、収集・運搬のどちらの面から見ても最適なシナリオとは言えない結果となった。

(2) 中継輸送に関する比較・考察

玉野市施設の建て替えを行わなかったシナリオ (2) と、玉野市施設跡地に玉野市中継施設を建設し中継輸送を導入したシナリオ (3) との間に、収集・運搬費用に大きな差が生じなかった。つまり、比較的近距离にある中継施設への一般廃棄物の収集による収集・運搬費用の低減効果と中継施設から焼却施設への運搬による収集・運搬費用の増加効果に大きな差がなかった。一方で、中継輸送を導入により、中継施設に起因する新たな施設費用が発生することから、シナリオ (3) の施設費用はシナ

リオ (2) のそれと比較して年間で8億6,000万円も大きくなっている。

中継輸送を導入したシナリオ (3) において、上記のように、収集・運搬費用に導入効果が現れなかった要因として、まず、岡山市及び玉野市の人口密度が大きく関係していると考えられる。筆者らの先行研究²⁾における仮想都市の分析により400人/km²以上の人口密度では中継輸送の導入効果が現れないことを明らかにしているが、岡山市及び玉野市の人口密度は400人/km²を大きく上回る948人/km²となっている。

また、もう1つの要因として、中継施設と焼却施設の位置が考えられる。岡山市及び玉野市の焼却施設位置は図-2~5に示すように、岡山市内の3つの焼却施設が共に都心部から10km以内の位置に建設されており、著しく辺鄙な場所に建設されているわけではない。そのため、岡山市及び玉野市では、各ごみステーションから最寄りの焼却施設までの収集距離も著しく長くなるわけではなく、中継輸送の導入による輸送距離の短縮効果があまり大きくなかったと考えられる。

5. 結論

本研究の結果から、現在は両市においてそれぞれ実施されているごみ処理を、広域化して共同で実施することによって、処理費用の約1割を削減できる可能性があることを明らかにした。

そして、費用の面から見た中継輸送導入の効果に関しては、本研究で対象とした岡山市及び玉野市のように、人口密度が1,000人程度と比較的高く、焼却施設が比較的都心部付近に立地している場合には、中継輸送の導入効果が現れにくいことを明らかにした。また、その要因に関しては、人口密度と施設立地位置が影響していることを先行研究の結果から考察した。さらに、中継輸送には費用の低減以外にも、環境負荷の低減効果や住民の被害者意識の軽減等の効果もあると考えられるため、様々な角度から有効性を検証する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針 <http://www.env.go.jp/recycle/waste/hoshin.pdf>
- 2) 松中亮治、谷口守、板垣大介：施設配置を考慮した可燃ごみ収集・運搬計画の最適化に関する研究、土木計画学研究・論文集Vol.23 No.1, pp.147-153, 2006.
- 3) たとえば、坂和正敏、田中雅博：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店、2000.
- 4) たとえば、環境省 平成15年度 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査及び効果検証に関する事業報告書