

一般廃棄物処理システムの総合的検討 を考慮したモデル分析

立命館大学大学院 ○立花潤三^{*1}立命館大学 春名 攻^{*2}by Junzo TATIBANA^{*1}, Mamoru HARUNA^{*2}

近年、世界的な資源保全問題を含んだ環境問題への関心の高まり、そしてそれら諸問題への積極的な取り組みも大きな広がりを見せている中、リサイクルというキーワードのもと廃棄物処理の目的も大きく変化してきており、最終埋立場の確保難等の様々な問題も含め各国とも様々なベクトルのもとその将来を模索している。このような社会背景を受けて、本研究ではリサイクル処理を考慮した有効な廃棄物処理技術・システム・施設の選択や経済的な妥当性、そして最終埋立処分場の残余容量への考慮等を内包した一般廃棄物処理施設整備計画モデルの開発研究及び、一般廃棄物収集・運搬システム整備計画モデル、一般廃棄物排出量推計モデルの開発を行いそれら各モデルを有機的に連携させた一般廃棄物処理システム整備計画モデルの構築を行うとともに、廃棄物処理計画問題に対する総合的かつ現実レベルでのモデル分析を行った。

【キーワード】一般廃棄物処理、リサイクル、モデル分析

1. はじめに

近年、資源保全の問題を含んだ環境問題に対する関心の強まりと積極的な取り組みは大きな広がりを見せ世界各国で様々なベクトルのもと、その将来を模索している。そんな中、本研究では循環型社会の構築を目指し、現在利用可能なマテリアルリサイクル技術を駆使したりサイクル処理体制を導入したシステムへの効率的な移行を実現するため、有効な廃棄物処理技術・システム・施設の選択や処理システム建設・運営に関する経済的な妥当性や、最終埋立処分場の残余容量に対する考慮などを内包した一般廃棄物処理施設整備計画モデルの開発研究を行うとともに、サブモデルとして一般廃棄物収集運搬システム整備計画モデル、一般廃棄物排出量推計モデルの開発を行い、一般廃棄物処理システム整備計画問題に対する総合的かつ現実レベルでのモデル分析を行うこととした。

2. 一般廃棄物処理システム計画モデル

(1) モデルの概要

本モデルは図 2-1 にも示す通り、「ゾーン内収集・運搬計画モデル」、「エリア内収集・運搬計画モデル」、「処理施設計画モデル」及び「排出量推計モデル」の4つのモデルから構成されており、各モデル間で情報をインプットしあいながら最終的に計画期間の最適システム（処理施設の種類と場所と建設スケジュール）を算出する。

(2) 一般廃棄物排出量推計に関する検討

広域ごみ処理システムを想定する際、ごみ排出量の空間的及び時間的な特性は、効率的・効果的な収集運搬体制や処理施設の立地場所、公平な各市町村の費用負担割合等を決定する際に重要な要因となってくる。そこで今回は各市町村単位よりも詳細な地域レベルでのごみの排出量推計をめざし、各種ごみ排出量を目的変数とおき、図 2-2 に示すように説明変数を抽出し、それをを用い重回帰分析により、ごみ

* 1 立命館大学大学院 077-561-2736

* 2 立命館大学 理工学部 077-561-2736

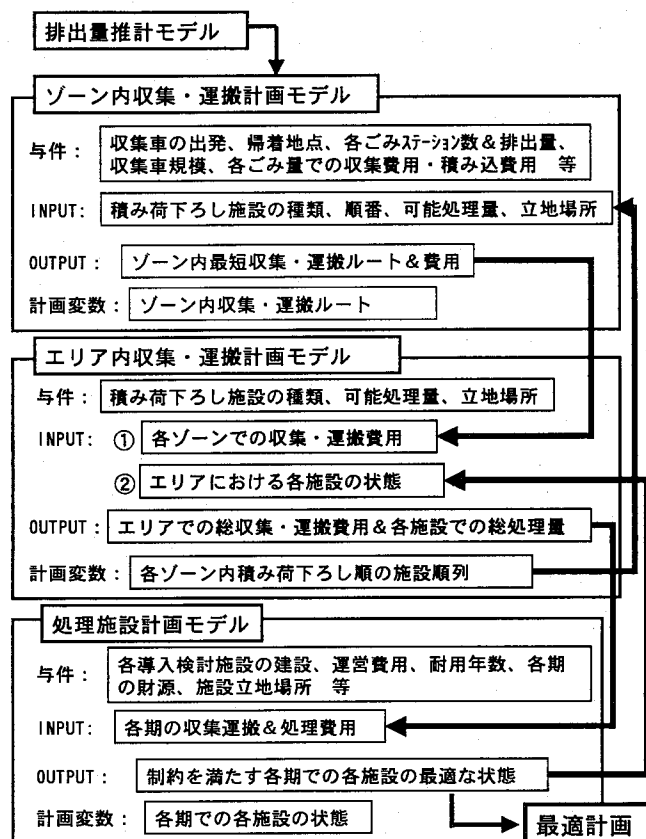


図 2-1 モデルの概要図

排出量推計を行った。説明変数の抽出に関しては、一般廃棄物の排出に関する各要因間の関係を明確にした上で、考え得る全説明変数を抽出したうえで多重共線性を考慮し、相関係数の高い世帯別人口割合（1～2人、3～4人、5人以上）、産業別人口割合（第1次、第2次、第3次）の6変数に絞り込んだ。表 3-1 には各ごみ排出量を目的変数とした時の各説明変数との相関係数を示す。

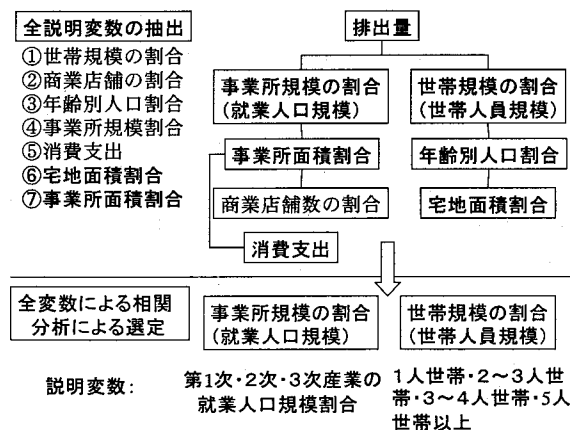


図 2-2 排出量推計モデルで用いる説明変数

表 2-1 各ごみ排出量と各説明変数との相関

	1～2人世帯	3～4人世帯	5人世帯以上	第1次産業	第2次産業	第3次産業
可燃ごみ	0.8720	0.7752	-0.5151	0.5568	-0.7670	0.8721
ペットボトル	0.7856	0.7356	0.5568	0.5670	0.8721	0.7752
鉄、アルミ、ガラス	0.8522	0.8564	-0.8756	0.3900	-0.7374	0.7670
プラスチック	0.8154	0.8397	0.7851	0.2035	0.6374	0.8721
生ごみ	0.7259	0.8185	0.5055	0.8756	-0.5851	0.5151
不燃ごみ	0.8163	0.7185	0.4816	0.7564	0.7397	0.7752

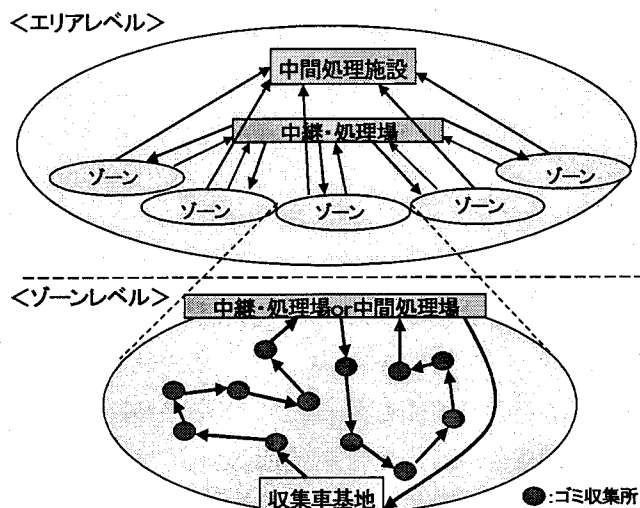


図 2-3 収集・運搬モデルの概要図

(3) ゾーン内収集・運搬計画モデルの定式化

ゾーン内での総収集・運搬費用を最小化するという目的関数 (1) 及びその制約条件 (2) ～ (6) は以下のように書くことができる。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \sum_{i,j \in I_z} C_{ij} \cdot \delta_{ij} \\ & \text{Sub. to} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I_z} \delta_{ij} = 1 \quad j \in I_z \quad (2)$$

$$\sum_{j \in I_z} \delta_{ij} = 1 \quad i \in I_z \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_z} w_i \leq b' \quad (4)$$

$$\sum_{k \in I_k} w_k \leq b_k \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I_z} n_i = N \quad (6)$$

ここで、 c_{ij} ：ゾーン内ごみ排出ステーション i から j までの収集運搬コスト、 δ_{ij} ルート i から j を選択する時 1、しないとき 0 のクロネッカーデルタ、 I_z ：ゾーン内のごみ排出ステーション、収集車基地及び積荷を降す施設の集合、 I'_z ：収集車基地もしくは積荷を降す施設から次の積荷を降す施設までのごみ排出ステーションの集合、 w_i ：ごみ排出ステーション i でのごみ排出量 $[t]$ 、 b' ：収集車のごみ積載限界量 $[t]$ 、 b_k ：ごみ処理施設 k の処理限界量

[t]、 n : 収集車が収集車基地を出発してまた収集車基地に戻るまでにゴミ排出ステーションもしくは積荷を降ろす施設を訪れる回数、 N : ゾーン内のゴミ排出ステーション、収集車基地及び積荷を降ろす施設の総数であり、制約条件の (2)・(3) は各ゴミ排出ステーションを収集車が必ず 1 回だけ収集にまわることを意味しており、(4) は収集車のゴミ積載限界量による制約、(5) はゴミを搬入するゴミ処理施設の処理限界量による制約、(6) の制約は部分巡回を防ぐためのものである。

(4) エリア内収集・運搬計画モデルの定式化

このモデルでは、対象地（以下エリア）全体における収集・運搬費用の最小化が目的関数となり、その制約条件と共に以下のように書ける。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} \quad \sum_{z \in Z} x_z(\varphi_z) \\ & \text{sub. to} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} w_z^k \leq b_k \quad (8)$$

ここで φ_z : ゾーン z における積荷を降ろす施設の順列、 $x_z(\varphi_z)$: ゾーン z における最小収集・運搬費用 (円)、 w_z^k : ゾーン z で処理施設 k へ運ばれるゴミ量 [t]、 b_k : 処理施設 k の処理限界量 [t]、 Z : エリア内のゾーンの集合であり、(7) の目的関数はエリア内の総収集・運搬費用を表しており、(8) はエリア全域から処理施設 k へ搬入されるゴミ量が処理施設 k の処理限界量を超えないという制約となっている。

(5) 処理施設計画モデル

ここでは計画期間内でのエリア内でのゴミ埋立量を目的関数とした制御数学問題として、最大原理を解法とした処理施設計画モデルの定式化、定義及び各式の説明を下記に示す。

$$\text{minimize} \quad P(T) = \sum_{t=1}^T P'(t) \quad (9)$$

sub.to

$$P(t) = P'(t) + P(t-1) \quad (10)$$

$$C(t) = C'(t) + C(t-1) \quad (11)$$

$$g(t) = y(t) + g(t-1) \quad (12)$$

$$P'(t) = ass(g(t), g(t)) \quad (13)$$

$$C'(t) = W(t) + D(t) + H(t) - E(t) \quad (14)$$

$$D(t) = d(g(t), g(t)) \quad (15)$$

$$H(t) = h(g(t), g(t)) \quad (16)$$

$$E(t) = e(g(t), g(t)) \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^T U(t) - C'(t) \geq 0 \quad (18) \quad P(0) = 0 \quad (19)$$

$$g(0) = 0 \quad (20) \quad C(0) = 0 \quad (21)$$

ここで、 i : ゴミの種類、 t : 計画初年度からの経過期、 k : ゴミの種類 i において導入検討施設、 $P(t)$: t 期までのゴミ埋立量、 $P'(t)$: t 期におけるゴミ埋立量、 $C(t)$: t 期までの総費用、 $C'(t)$: t 期における総費用、 $W(t)$: t 期における収集・運搬費用、 $D(t)$: t 期における処理施設の運営・管理費用、 $H(t)$: t 期における新規立地施設の建設費用、 $E(t)$: t 期における再資源化製品の売上、 $g(t)$: t 期において施設 j 、 k が立地していなければ 0、建設中ならば 1、立地していれば 2、 $y(t)$: $t-1$ 期と t 期の時間断面において新規立地施設の建設を開始すれば 1、その他が 0、 $g(t)$: t 期における各ゴミの排出量、 $U(t)$: t 期でのコスト制約である。(9) は目的関数を表す。ここでは、計画期間の総ゴミ埋立量を最小化にする問題として定式化した。制御変数として新規立地施設の建設開始を表わす $y(t)$ が該当する。(10) は計画期間内の総埋立量の状態方程式、(11) は総費用の状態方程式、(12) は施設の立地状態を表す状態方程式、(13) は t 期での埋立量算出関数、(14) は総費用の内訳、(15) は運営・管理費用算定関数、(16) は建設費用算定関数、(17) は再生品化商品の利益もしくは逆有償、(18) は各期での費用制約、(19)、(20)、(21) はそれぞれ、埋立量、施設状態、費用の状態変数の初期設定を表す。

3. モデルの分析結果

本モデルの実証的分析は、滋賀県草津市、守山市、栗東町、野洲町、中主町の 2 市 3 町を対象としておこなった。また、ゴミ排出の分別種類は導入検討施設との関係から、可燃ゴミ、不燃ゴミ、生ゴミ、ペットボトル、プラスチック、鉄・アルミ・ガラスの 6 種分別と設定した。導入検討施設としては、ペットボトルリサイクル施設、リサイクルセンター、プラスチック複合再生施設、コンポスト施設、ガス化溶融施設、焼却場の 6 つを設定した。

ここで、対象地において分別排出に関してアンケート

表 3-1 対象地での各ごみの分別実施率

	ビン	スチール缶	アルミ缶	ペットボトル	プラスチック
分別実施率	0.724	0.706	0.798	0.773	0.469

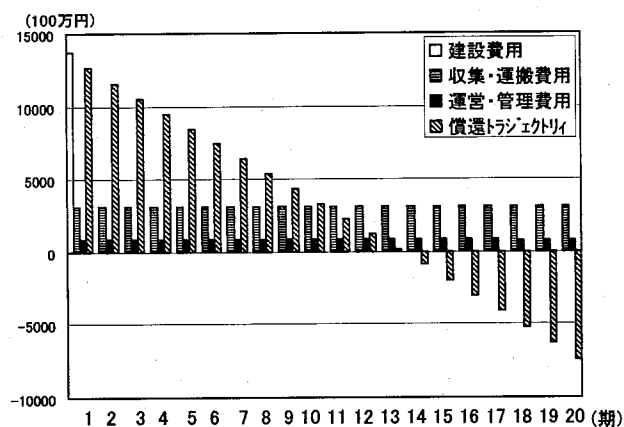


図 3-1 分析パターン1における各費用の経年変化

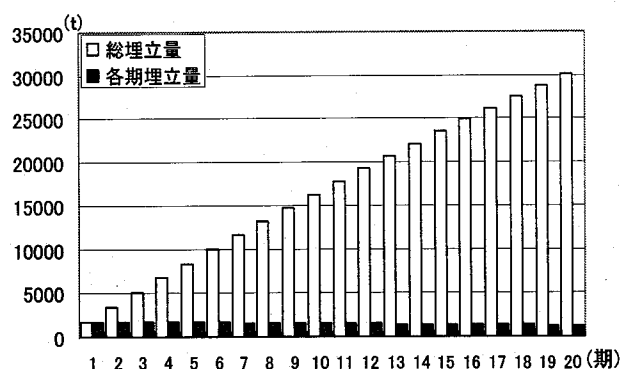


図 3-2 分析パターン1における埋立量の経年変化

ート調査を行った結果を表 3-1 に示す。この分別実施率を適用したものを分析パターン 1 として設定した。その結果、パターン 1 では、導入検討施設のうちリサイクルセンター、コンポスト化施設、ガス化溶融施設が第 1 期目から建設されるという結果が得

られた。また、その際の各期の総建設費用、総収集・運搬費用、総運営・管理費用、償還トラジェクトリイを図 3-1 に示す。ここで償還トラジェクトリイとは、建設費用などが足りない場合に借り入れた借入金を償還していく経緯を示したものであり、その数値は各期に抱えている借入金の残額を表している。この結果、第 10 期目から黒字に転じていることが見て取れる。また、埋立量の経年変化を図 3-2 に示す。草津市での年間埋立量の約 5066t (平成 8 年) と比較すると、本モデル分析の対象地が 2 市 3 町と広がるのにもかかわらず各年度埋立量平均値が 1702t と大きく下回る結果となった。

次に、ごみの排出段階での分別効率が上がった場合を分析パターン 2 として分析を行ってみた結果、処理施設立地状況及び各種コストには大きな変化はみられなかったが、分析パターン 1 での総埋立量が 30044t であるのに対し、分析パターン 2 では 27176t へと大きく減少しており、分別効率が埋立量に大きく影響を及ぼすことがわかった。

4. おわりに

本研究では、廃棄物処理システム計画をその構想計画段階において、効果的かつ合理的に行うための廃棄物処理システム計画の検討ツールとして、総合的かつ多面的な検討の実現をめざした廃棄物処理システム計画モデルの開発を行い、滋賀県草津市、守山市、栗東町、野洲町、中主町の 2 市 3 町の広域地域を対象とした実証的モデル分析を行った。

A Study on Development of Model on Desirable Wastes Disposal System in Regions

By Junzo TACHIBANA*¹, Mamoru HARUNA*²

Recently, the purpose of waste management system has been expanded on the key word "recycling". In Japan there is the problem of the securing difficulty of the final disposal place. The waste management system is coming into the time of the reform in our country. We must consider each stage from production to management (recycling) to materialize a better waste management system.

Under such a background we developed the planning model of the waste management system and analyzed on the actual level by this model to plan a waste management system effectively and rationally.