

リサイクル型社会に適合した一般廃棄物 処理システムの整備計画に関する実証的研究*

A Study on Model Analysis of Desirable Disposal System including Recycling*

立花 潤三**・春名 攻***・橋本 拓磨****・山本 康史****

By Junzo TACHIBANA**・Mamoru HARUNA***, Takuma HASHIMOTO****・Yasushi YAMAMOTO****

1. はじめに

本研究では、廃棄物処理問題を消費・排出・収集・運搬・処理（リサイクル）のすべてを捉えた総合的な検討を目指し、排出段階における排出者意識及び排出状況調査を基に、住民の排出に関する意識の影響を考慮した一般廃棄物の排出量推計を行った。そして、廃棄物処理費用の約6割を占めると言われる収集・運搬段階においてはその効率的なシステム構築を目指した数理計画法を用いた収集・運搬計画モデルの開発を行った。また、処理・リサイクル段階においては、計画期間内での建設、運営・管理、収集・運搬、発電等の総費用の最小化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開発を行った。そして、排出段階、収集・運搬段階、処理・リサイクル段階の各モデルを有機的に結合し同時に検討できるようなモデルを構築し、廃棄物処理計画問題の総合的な検討、分析を可能とした。そして、滋賀県草津市、守山市、栗東市、野洲町、中主町を対象に実証分析を行った。

2. 一般廃棄物処理システム計画モデルの概要

ここでは、複雑な一般廃棄物処理システム計画モデルの構造及び情報の流れの概要を示すこととする。本モデルは「一般廃棄物排出量推計モデル」、「収集・運搬計画モデル」、「処理施設計画モデル」の3つのモデルから構成される。それらモデルの概要とモデル間の情報の流れを図2-1に示す。

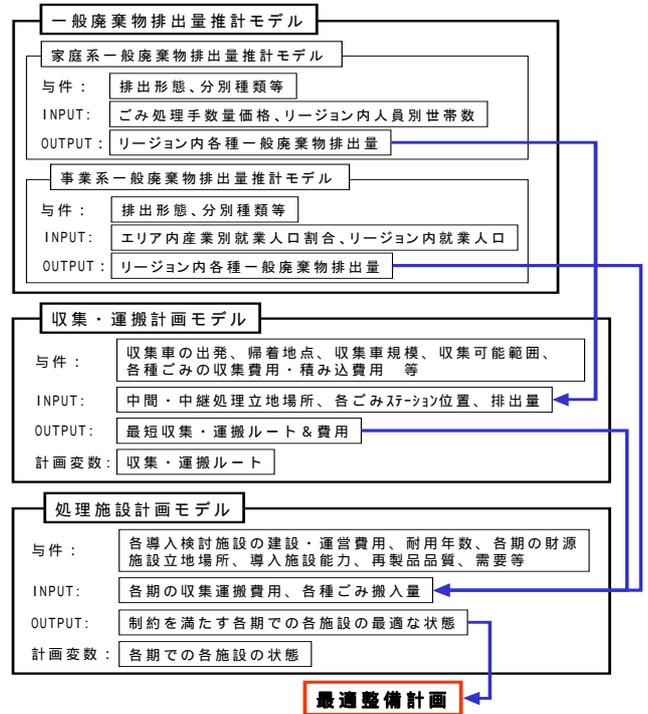


図2-1 一般廃棄物処理システム計画モデルの概要

3. 一般廃棄物排出量推計モデルの定式化

(1) 家庭系一般廃棄物排出量推計モデルの定式化

本研究では家庭系の一般廃棄物に関して、その排出原単位には各種社会経済指標や世帯属性のみならず、排出者である住民のごみの分別や減量に関する意識も大いに影響してくるものと考え、推計手法としては、住民の環境に対する意識や分別排出、減量化に取り組む姿勢や意識が排出原単位にどう影響するのかを定量的に把握し、目的変数を排出原単位（t/世帯・年）、説明変数を住民のごみ排出に関する意識とした家庭系一般廃棄物排出原単位ならびに排出量推計モデルを構築した。以下にその定式化を示す。

$$W_{i \text{ house}}^{re}(t) = \sum_{n \in N} q_{i \text{ house}}^n \cdot S_{re}^n(t) \quad (1)$$

$$q_{i \text{ house}}^n = f(u_i) = \alpha_i \ln(u_i) + \beta_i \quad (2)$$

$$u_i = f'(c_{char}^i) = \alpha_i' \ln(c_{char}^i) + \beta_i' \quad (3)$$

*キーワード：廃棄物処理計画、リサイクル

**学生員、工修、立命館大学理工学研究科（滋賀県草津市野路東1-1-1、Tel、Fax 077-561-2736）

***正員、工博、立命館大学理工学部（滋賀県草津市野路東1-1-1、Tel、Fax 077-561-2736）

****学生員、立命館大学理工学研究科（滋賀県草津市野路東1-1-1、Tel、Fax 077-561-2736）

表 3-1 排出量原単位を求める回帰式のパラメータ

1人世帯	2人世帯	3人世帯	4人世帯	5人世帯以上
0.4503	-0.799	0.5331	0.7568	0.4774
0.7197	0.4994	0.7457	0.5672	0.6583

表 3-2 世帯規模別ごみ排出量原単

ごみ種類	設定料金 (円/袋)	セグメント別排出原単位(kg/世帯・年)				
		1人世帯	2人世帯	3人世帯	4人世帯	5人世帯以上
厨芥	10	61.489	79.585	96.705	127.352	134.667
プラスチック	10	21.290	27.653	36.871	41.359	57.796
紙類	10	157.116	135.988	136.762	119.933	157.963
PET	10	2.146	2.733	3.757	4.126	6.015
びん	10	36.543	32.043	33.461	37.067	38.708
缶	10	11.685	14.472	8.587	16.915	10.278
その他可燃	10	184.974	231.614	233.861	336.223	477.417
不燃	10	6.656	15.220	16.000	23.491	27.327
粗大	500	8.572	18.237	35.963	34.416	17.906
乾電池	無料回収	0.123	0.154	0.208	0.301	0.451

ここで、 i : 家庭から排出される一般廃棄物の種類 (1.厨芥類 2.プラスチック類 3.紙類 4.PET ボトル 5.びん類 6.缶類 7.可燃ごみ 9.不燃ごみ 9.粗大ごみ 10.乾電池) re : 学区など一定範囲の地区(リージョン) $W_{i,house}^{re}(t)$: t 期にリージョン re 内から排出される家庭系一般廃棄物 i の年間排出量 (t/年) $q_{i,house}^n$: n 人世帯における家庭系一般廃棄物 i の排出原単位 (t/世帯・年) $S_{re}^n(t)$: t 期のリージョン re 内における n 人世帯の数である。また、ここで排出原単位 $q_{i,house}^n$ は排出者の減量化意識レベルに影響され、減量化の意識レベルはごみ排出の有料化政策に影響される。従って、減量化意識レベルと排出原単位および減量化意識レベルと住民の廃棄物処理負担額は互いに対数関数形に近似し、(2)(3)のように定式化することができる。そのとき、 u_i : 家庭系一般廃棄物 i を排出する際の住民の減量化レベル、 α_i, β_i : (2)式における各パラメータ、 $c^{i, char}$: 袋従量制における一般廃棄物 i を収集するごみ袋一袋あたりの金額(円) α'_i, β'_i : (3)式における各パラメータとなる。各パラメータ推定結果を表 3-1 に、ごみ排出用袋の設定を 10 円/袋と設定した場合の各ごみの世帯規模ごとの排出量原単位を表 3-2 に示す。また図 3-1 に、本推計モデルと実績値の比較を示す。

(2) 事業系一般廃棄物排出量推計モデルの定式化

事業系一般廃棄物排出量原単位はその地域の事業所の種類、数、規模に加え各業種における年間売上等の地域特性の違いによってその値が異なる。したがって、本研究では各エリア(各市町村)での地域特性をあらゆる社会経済指標およびその他統計量

排出総量 (t/年)

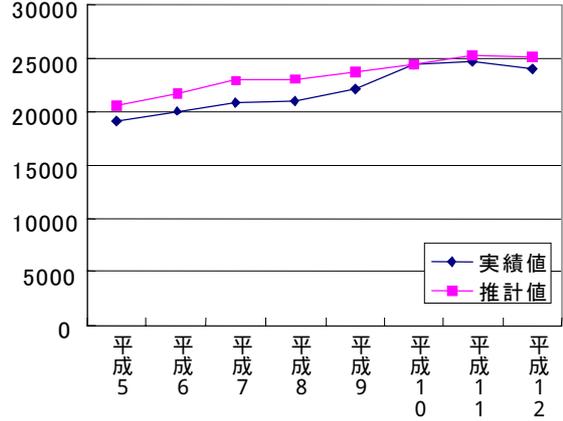


図 3-1 排出量の推計値と実績値の経年比較

を説明変数、排出原単位を被説明変数とする重回帰モデルを想定する。公共の処理施設への搬入量を記録している全国 114 市町村を基本サンプルとし、

表 3-3 排出量原単位と相関の高い統計値

説明変数名	偏回帰係数
1事業所あたりの就業人口・農林水産	-0.001358672
1事業所あたりの就業人口・製造	-0.070310893
1事業所あたりの就業人口・運輸通信	-0.033524502
1事業所あたりの就業人口・小売卸売飲食	0.470916324
1事業所あたりの就業人口電気・ガス・熱供給・水道	0.057356056
1事業所あたりの就業人口サービス業	0.420788766
1事業所あたりの就業人口・金融・保険・不動産業	-0.074729306
定数項	2.210717748

排出原単位 (t/人)

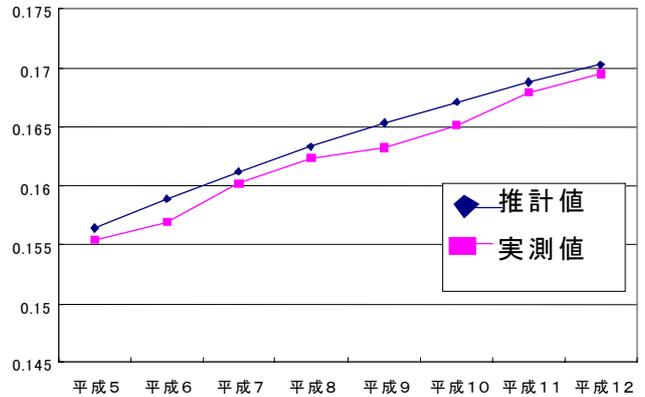


図 3-2 排出量原単位の実測値と推計値の経年比較

事業系一般廃棄物排出原単位 (事業所あたり [t/事業所・年] 就業人口あたり [t/人・年]) と地域特性データの相関関係を調べた。そして、最終的な説明変数の抽出は、上述したすべての要因の組み合わせについて重回帰分析をおこない選択した。選択された説明変数を表 3-3 に示す。

また、図 3-2 に本推計モデルと実測値との排出量原単位での比較を示す。この図から、本推計モデルの精度は比較的高いと見てとれる。

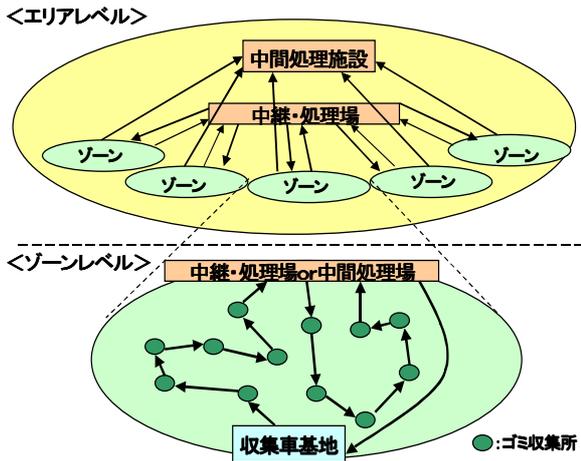


図 4-1 一般廃棄物収集・運搬計画モデルの概要図

4. 一般廃棄物収集・運搬計画モデルの定式化

本モデルは、一般廃棄物の収集エリアをゾーン分割し、各ゾーン内において最適な収集・運搬ルート、及び収集・運搬コストを求め、エリア全体における最小収集・運搬コストを算出するモデルである。図 4-1 には本モデルの概略図を示す。またその定式化を以下に示す。

$$\text{minimize } \sum_z \sum_{i,j \in I_z} C_{ij} \cdot \delta_{ij} \quad (1)$$

Sub. to

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

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

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

$$\sum_{i \in I_z} w_i \leq b_k \quad (5)$$

$$u_i - u_j + n\delta_{ij} \leq n-1 \quad i, j = 0, 1, \dots, n (i < j) \quad (6)$$

ここで、 C_{ij} : ゾーン内ゴミ排出ステーション 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ゴミ排出ステーションの集合、 w_i : ゴミ排出ステーション i でのゴミ排出量 $[t]$ 、 b' : 収集車のごみ積載限界量 $[t]$ 、 b_k ; ゴミ処理施設 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ごみ排出ステーションもしくは積荷を降す施設を訪れる回数、 N : 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) は収集車のごみ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) の制約式は部分巡回を防ぐためのものである。

5. 一般廃棄物処理施設計画モデル

本モデルは、目的関数を計画年次内でのトータル収支の最小化とした時の各期における一般廃棄物処理施設の整備施設種類と整備時期を決定する制御数学モデルであり、その解法には最大原理を用いた。以下にその定式化を示す。

$$\text{minimize } C(T) = \sum_{t=1}^T C'(t) \quad (7)$$

sub.to

$$P(t) = P'(t) + P(t-1) \quad (8)$$

$$C(t) = C'(t) + C(t-1) \quad (9)$$

$$\$ (t) = y(t) + \$ (t-1) \quad (10)$$

$$P'(t) = \text{ass}(g(t), \$ (t)) \quad (11)$$

$$C'(t) = W(t) + D(t) + H(t) - E(t) \quad (12)$$

$$D(t) = d(g(t), \$ (t)) \quad (13)$$

$$H(t) = h(g(t), \$ (t)) \quad (14)$$

$$E(t) = e(g(t), \$ (t)) \quad (15)$$

$$\sum_{t=1}^T U(t) - C'(t) \geq 0 \quad (16)$$

$$P(0) = 0 \quad (17)$$

$$\$ (0) = 0 \quad (18) \quad C(0) = 0 \quad (19)$$

ここで、 i : ゴみの種類、 t : 計画初年度からの経過期、 k : ゴみの種類 i において導入検討施設、 $P(t)$: t 期までのごみ埋立量、 $P'(t)$: 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及び電力の売上、 $\$ (t)$: 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。(7) 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。(8) は計画期間内

表6-1 モデルへの適用値と実測値の比較（/年）

	草津市統計値	モデル適用値
ごみ排出量(t)	33319	30222
収集・運搬費用(百万円)	470.1	360.07
埋立量(t)	5506	3017

総埋立量の状態方程式、(9)は総費用の状態方程式、(10)は施設の立地状態を表す状態方程式、(11)は*t*期での埋立量算出関数、(12)は総費用の内訳、(13)は運営・管理費用算出関数、(14)は建設費用算出関数、(15)は再生品化商品の利益もしくは逆有償、(16)は各期での費用制約、(17)、(18)、(19)はそれぞれごみ埋立量、施設状態、費用を表す状態変数の初期設定を表す。

6. 本モデルの実証的検討

(1) モデルの妥当性に関する検討

表6-1に、本モデルにおける排出量推計モデル、収集・運搬モデル、処理施設計画モデルを平成8年度の草津市の状態に適用してみた場合の結果及び同じく平成8年度の草津市での各統計値を示す。

(2) 分析結果

ここでは、現状から将来を素直に予測したいわば現状保持型推移のデータを用いた分析結果を分析パターン1として下記に示す。

	1期	2期	3期	4期	5期	6期	7期	8期	9期	10期
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		○	○	○	○	○	○	○	○	○
焼却場		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ガス化溶融炉		○	○	○	○	○	○	○	○	○
	11期	12期	13期	14期	15期	16期	17期	18期	19期	20期
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		○	○	○	○	○	○	○	○	○
焼却場		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ガス化溶融炉		○	○	○	○	○	○	○	○	○

●新規施設整備 ○施設稼働状態

図6-1 分析パターン1の施設建設結果

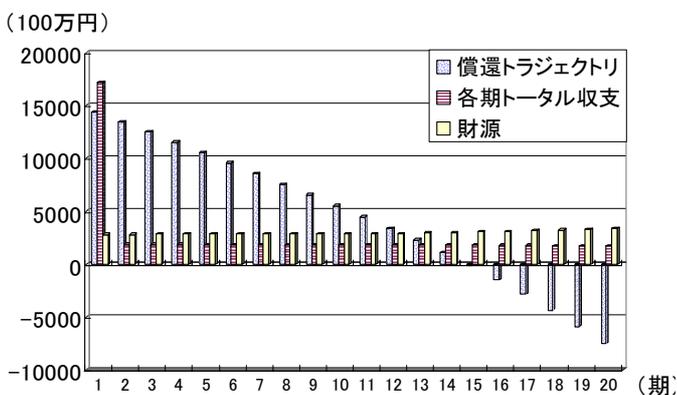


図6-2 分析パターン1の各費用の経年変化

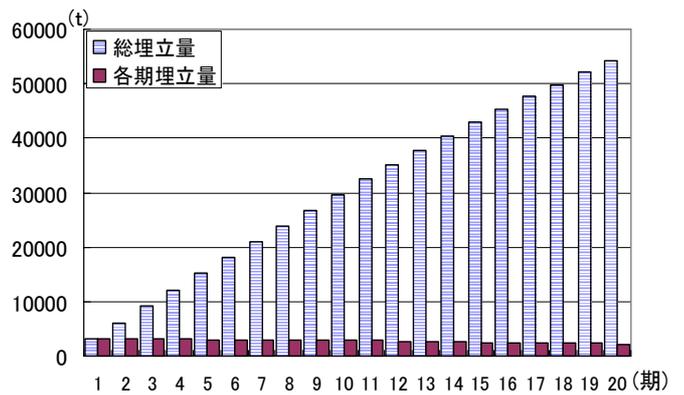


図6-3 分析パターン1の埋立量の経年変化

分析結果パターン1は、計画期間内の最終埋立量の制約を60000tに設定した場合の結果である。図6-1を見てみると、初年度よりコンポスト施設、リサイクルセンター(選別・破碎・圧縮)、ガス化溶融施設が建設される結果となった。また、その際の各期の財源、トータル収支、償還トラジェクトリを図6-2に示す。ここで償還トラジェクトリとは、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。なお、これがマイナスを示す場合には、次期への繰越金を示すものとする。また償還の際の年利率は一律2%と設定した。この結果、第15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6-3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2675tと大きく下回る結果となった。また、売電単価を7.8(円/KWh)と設定しているため年間の売電収入は第1期目で409(百万円)、第20期目では、779(百万円)となった。

6. 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。なお、分析結果等に関しては、紙面の都合上一部割愛し発表時に述べる事とする。