

# リサイクル型社会に適した一般廃棄物 処理システム計画モデルに関する実証的研究\*

立命館大学大学院 ○立花潤三\*<sup>1</sup>立命館大学 春名 攻\*<sup>2</sup>by Junzo TATIBANA\*<sup>1</sup>, Mamoru HARUNA\*<sup>2</sup>

近年、世界的な資源保全問題を含んだ環境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い実証分析を行った。

【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

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、排出段階においては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ており、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。

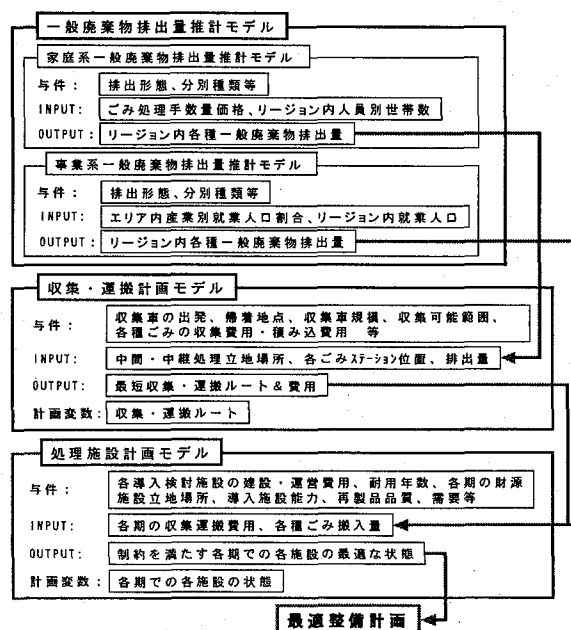


図2-1 一般廃棄物処理システム計画モデルの概要

\*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

### 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。

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

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

$$u_i = f'(c_{char}^i) = \alpha'_i \ln(c_{char}^i) + \beta'_i \quad (3)$$

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   |         |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\alpha$ | $\beta$ |
| 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<br>(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)、 $W_{i \text{ house}}^{re}(t)$  :  $t$  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)、 $q_{i \text{ house}}^n$  :  $n$  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  $q_{i \text{ house}}^n$  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、 $\alpha_i, \beta_i$  : (2)式における各パラメータ、 $c_{char}^i$  : 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)  $\alpha'_i, \beta'_i$  : (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ごみの世帯規模ごとの排出量原単位を表 3-2 に示す。

#### (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わす社会経済指標およびその他統計量を説明変数、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  |

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。

#### 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。

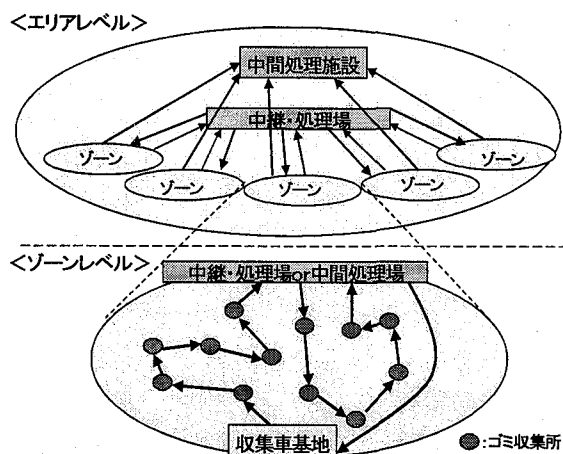


図 4-1 一般廃棄物収集・運搬計画モデルの概要図

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

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

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

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

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

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

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、 $\delta_{ij}$ ：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ろす施設から次の積荷を降ろ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ごみ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、 $N$ ：ゾーン内のごみ排出ステーション、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) は各ごみ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) はごみを搬入するごみ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

学モデルのであり、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。

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

sub.to

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ここで、 $i$ ：ごみの種類、 $t$ ：計画初年度からの経過期、 $k$ ：ごみの種類  $i$  において導入検討施設、 $P(t)$ ： $t$  期までのごみ埋立量、 $P'(t)$ ： $t$  期におけるごみ埋立量、 $C(t)$ ： $t$  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、 $y(t)$ ： $t$  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、 $g(t)$ ： $t$  期における各ごみの排出量、 $U(t)$ ： $t$  期でのコスト制約である。(7) は目的関数を表す。ここでは、計画期間の総ごみ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) は計画期間内の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・管理費用算定関数、(14) は建設費用算定関数、(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。

|               | 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

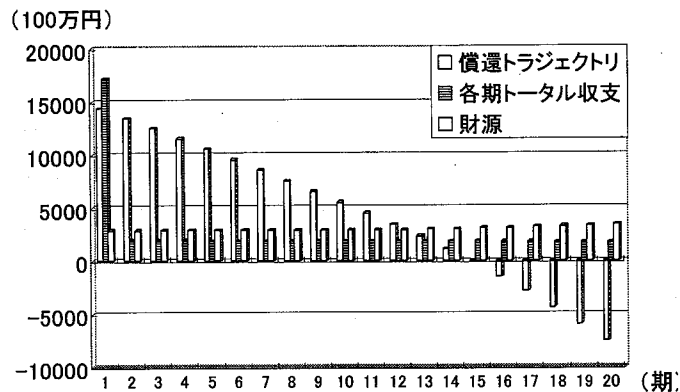


図 6-2 分析パターン1の各費用の経年変化

## 6. 本モデルの実証的検討

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パターン1として下記に示す。分析パターン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・

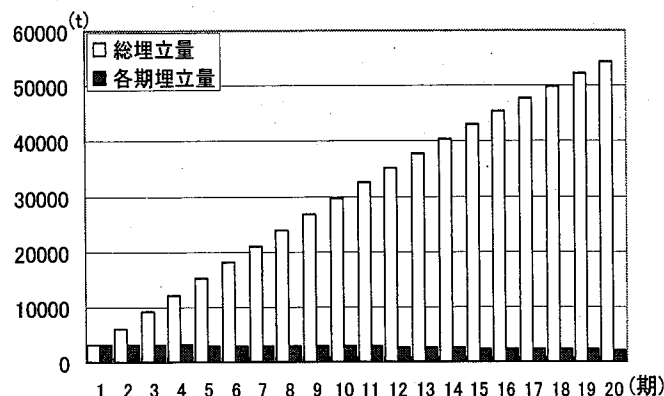


図 6-3 分析パターン1の埋立量の経年変化

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。

## 7. 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。

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

By Junzo TACHIBANA<sup>\*1</sup>, Mamoru HARUNA<sup>\*2</sup>

Recently, the purpose of waste management system has been expanded on the key word "recycling". Worldwide researches and activities to the resources preservation, such as a global environment, are activated all the more. The waste management problem that is the big factor of those problems is coming to be taken greatly. Moreover, in Japan there is a 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.

In this paper we developed the planning model of the waste management system as a tool of creating the information for support a desirable planning of waste management system including recycling, and model analysis on actual level was examined through case study analysis at Kusatsu-City, Moriyama-City, Ritto-Cho, Yasu-Cho and Chuzu-Cho.