

地方都市圏における生ゴミ処理システム構想に関する実証的分析 一般廃棄物処理合理化の一環として

Empirical analysis about the kitchen garbage processing system design as part of the wastes processing rationalization in the local city area *

春名 攻**・立花 潤三***・山本 康史****・大友 智****

By Satoshi OTOMO**・Mamoru HARUNA***, Junzo TACHIBANA****・Yasushi YAMAMOTO**

1. はじめに

従来、可燃性ごみの約3割を占める生ごみは、農業資材として飼料や肥料として利用されてきた。近年は、都市化の進展、農村労働力の減少、廃棄物の質の変化など様々な要因から、有機物の物質循環の輪が途切れ、そのほとんどが焼却処理されている状況にある。生ごみは組成の大部分が水分であるため、処理過程で低温焼却を引き起こしダイオキシンの発生原因にもなってくる。そのため、自区域内での再生資源の利用促進の観点からは、地方自治体の生ごみ処理システムの整備は重要な問題となっている。

そこで本件研究では、排出段階における排出者意識及び排出状況調査を行い、これにもとづき、住民のごみ排出意識を考慮した一般廃棄物の排出量推計を行った。次に、廃棄物処理費用の約6割を占めると言われる収集・運搬の効率的なシステム構築を目指し、数理計画法を用いた生ゴミ収集・運搬計画モデルの開発を行った。さらに、計画期間内の処理プロセス全体に関わる総費用の最小化を目的関数とした処理・リサイクル施設計画モデルの開発も行った。また、排出段階、収集・運搬段階、処理・リサイクル段階に対応する各モデルを有機的に結合し、同時・総合的にシステムデザインの検討ができるような複合設計モデルを構築する。最後に、廃棄物処理計画問題の総合的な検討・分析の可能性を、滋賀県草津市を対象とした実証分析を通して確認した。

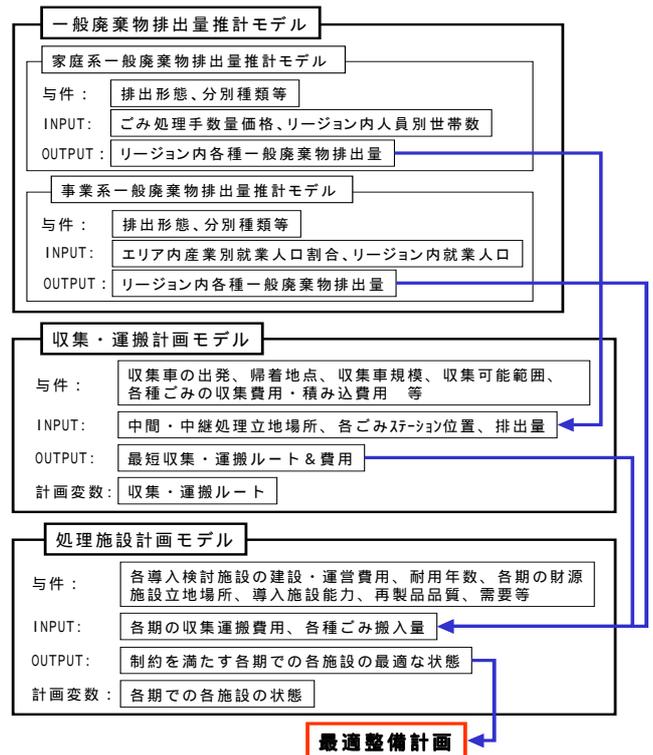


図 2-1 生ごみ処理システム計画モデルの概要

2. 生ゴミ処理システム計画モデルの概要

ここでは、生ゴミ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「生ゴミ排出量推計モデル」、「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。

3. 生ゴミ排出量推計モデルの定式化

(1) 家庭系生ゴミ排出量推計モデルの定式化

本研究では家庭系の生ゴミに関して、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た。推計手法とし

*キーワード：環境計画、地域計画

**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、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）

****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
厨芥	10	61.489	79.585	96.705	127.352	134.667

表 3-3 家庭系厨芥ごみ排出量の推計値

	1	2	3	4	5
志津	1234.336645	1284.448975	1308.351122	1453.443061	1513.543153
草津	3133.871681	3001.020741	2814.440764	2878.814536	2998.788608
老上	3007.958269	2884.773594	2708.50346	2773.070847	2891.015701
山田	665.4391431	640.8176782	603.5556188	619.4341117	646.9604231
笠縫	1939.499905	1861.347341	1747.106158	1786.914216	1859.903527
常盤	361.3690861	341.799004	316.1868635	323.5484177	336.9271941
	6	7	8	9	10
志津	1522.67218	1532.920425	1497.90268	1512.061157	1577.392976
草津	3019.529565	3043.944209	2979.576105	3013.965338	3151.59721
老上	2913.165633	2931.897049	2864.066145	2890.274848	3014.255274
山田	652.79765	659.1503678	646.0180652	654.0787827	684.3900897
笠縫	1863.302033	1868.003522	1817.702952	1834.884246	1914.164323
常盤	338.9593907	340.5616487	332.1196699	334.5917499	348.3538743

(t/year)

は、住民の環境に対する意識や分別排出、減量化に取り組む意識が排出原単位にどう影響するのかを定量的に把握することとした。そして、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生ゴミ排出原単位と排出量推計モデルを構築した。以下にその定式化を示す。

$$W_i^{re}(t) = \sum_{n \in N} q_i^n \cdot S_{re}^n(t) \quad (1)$$

$$q_i^n = f(u_i) = \alpha_i \ln(u_i) + \beta_i \quad (2)$$

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

ここで、 i : 家庭から排出される一般廃棄物の種類(ここでは厨芥類を指す)、 re : 学区など一定範囲の地区(リージョン)、 $W_i^{re}(t)$: 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^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^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

表 3-4 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

表 3-5 事業厨芥ごみ排出量の推計値

	(t/year)				
	1期	2期	3期	4期	5期
志津町	465	467.8	470.4	472.7	474.7
草津町	1166.9	1170.7	1173.7	1176.1	1178
老上町	1065.1	1069	1072	1074.8	1076.9
山田町	144.6	147.5	150.4	153.2	155.9
笠縫町	319.4	322.6	325.5	328.3	330.9
常盤町	128	130.4	132.6	134.8	137
	6期	7期	8期	9期	10期
志津町	476.6	478.1	479.5	480.7	481.6
草津町	1179.2	1179.8	1179.9	1179.5	1178.5
老上町	1078.4	1079.4	1079.9	1079.9	1079.4
山田町	158.5	161	163.4	165.8	168.1
笠縫町	333.3	335.6	337.7	339.6	341.4
常盤町	139	141	142.9	144.8	146.6

化レベル、 α_i, β_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)、 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。また表3-3に、本モデルで求めた推計結果を示す。

(2) 事業系生ゴミ排出量推計モデルの定式化

事業系生ゴミ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、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3-4に示す。

また、表 3-5 に本推計モデルの排出量推計値を示す。

<エリアレベル>

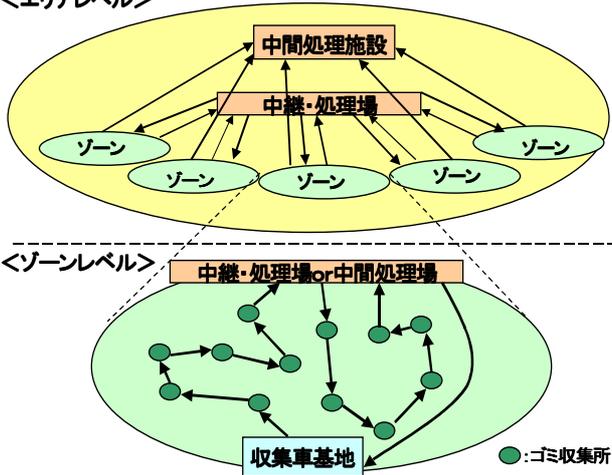


図 4-1 収集・運搬計画モデルの概要図

4 . 収集・運搬計画モデルの定式化

本モデルは、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ろす施設の集合、 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 . 生ゴミ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生ゴミ処理施設の整備施設種類を決定する数学モデルであり、その定式化を示す。

$$\sum_{t=1}^T f(t) \rightarrow \min \quad (7)$$

$$f(t) = h(t) + u(t) + s(t) + r(t) - c(t)$$

sub.to

$$f(t) \leq 0 \quad (8)$$

$$T_j \leq T_j \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^j \sum_{j=1}^k w_k \leq w_{k \max} \quad (10)$$

$$\sum_{t=1}^j g(t) = G \quad (11)$$

$$g(t) = \sum_k w_k(t) \cdot \alpha \cdot \theta \quad (12)$$

$$f(0) = 0 \quad (13)$$

$$x(0) = 0 \quad (14)$$

$$g(0) = 0 \quad (15)$$

$f(t)$: t 期でのトータル収支

$h(t)$: t 期での建設費用

$u(t)$: t 期での運営費用

$s(t)$: t 期での収集運搬費用

$c(t)$: t 期における生ゴミ処理に対する収入

T_s : 建設されてからの年数

T_l : 耐久年数

w_k : 施設 k に搬入される量

$w_{k \max}$: 施設 k での処理限界量 (収集運搬段階でクリアされる)

$g(t)$: t 期における埋め立て量

$w_k(t)$: t 期における施設への搬入量

α : 残渣率

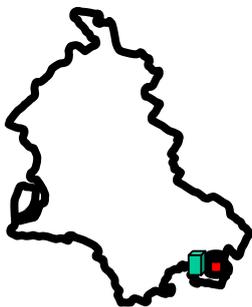
θ : 収集ゴミから利用可能ゴミ抽出の際の減量率

6. 本モデルの実証的検討

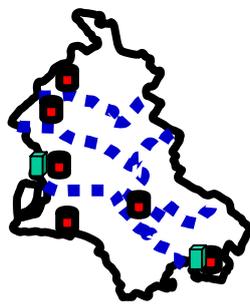
以上の3つのモデルを使って滋賀県草津市を対象とし、施設の位置、規模、ゾーン分割の違いにより5つのパターンを考え分析を行った。なお、ここでは紙面の都合上パターン1、パターン3のみ結果を示すこととしその他の結果は割愛し発表時に述べることにする。

パターン1は市内に1つ大規模な生ゴミ処理施設を建設する。立地場所に関しては住民の合意形成が得られやすいよう既存の草津市クリーンセンターに併設する事としている。これは5つのパターンの中でパターン2と同様最も大きいゾーン分割になっている。

パターン3は市内を最小の単位、つまり学区ごとにゾーン分割しそれぞれのゾーンに小規模な生ゴミ処理施設を建設する。施設の立地に関しては、既存の施設があるゾーンではそれに併設あるいは拡大することとし、それ以外の地域に関しては農地に建設するとする。このパターンが5つのパターンの中で最も小さいゾーン分割になる。



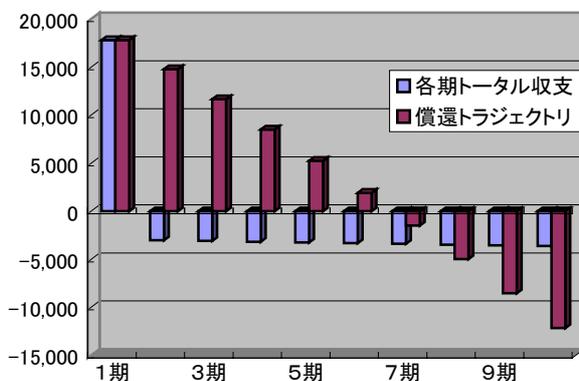
パターン1施設立地図



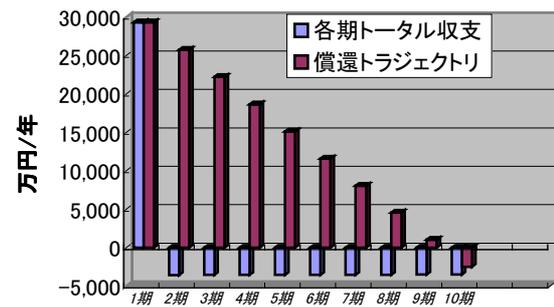
パターン3施設立地図

 既存の中間処理施設

 新規生ゴミ処理施設



各期におけるシステム収支推移 (パターン1)



各期におけるシステム収支推移 (パターン3)

7. おわりに

本研究では、生ゴミ処理システム整備計画問題に関するシステム論的考察を行った。即ち、総合的で合理的な解決方法に関するシステム論的な検討として、生ゴミ処理システム整備計画モデル及びその情報ツールとしての各モデルの構築と統合、さらには、実証的モデル分析を行うことにより、地域にとって必要な廃棄物処理システムの効果的・効率的構築のための方法論の具体的提案を行った。

8. 参考文献

参考文献

- 1) 田中勝「廃棄物リサイクルと収集運搬システム」廃棄物学会誌 Vol7, No.5, pp.422-433, 1996
- 2) 小泉 明、他「都市ごみ収集輸送計画のためのファジィ線形計画モデル」(土木学会論文集 NO. 443 / - 18, pp. 101~107, 1992.2)
- 3) 廃棄物学会編：廃棄物ハンドブック
- 4) 草津市：一般廃棄物処理基本計画、1996.3
- 5) 滋賀県琵琶湖環境整備課：滋賀県の廃棄物、1998.3
- 6) (株) オフィスゼロ：環境・リサイクル施設データブック 2000, 2000
- 7) 厚生省水道環境部：廃棄物処理事業・施設年報、環境産業新聞社, 1999
- 8) 廃棄物処理編集委員会：環境施設, 1999
- 9) 波田幸夫：廃棄物処理再資源化技術百選、(株) 環境新聞社, 1999