

II-6 地方都市圏一般廃棄物処理合理化の一環としての生ゴミ処理システムに関する実証的研究

A Study on Model Analysis of Desirable Disposal System including Recycling

春名 攻¹・大友 智²・藪田 祐子³

Haruna Mamoru, Otomo Satoshi and Yabuta Yuko

抄録：近年、地球規模での資源保全・環境負荷問題やゴミ埋立地の切迫した確保難を背景とした、廃棄物処理に関する動きがますます活発化しており、わが国においては廃棄物処理システムのありべき方向を模索しているのが実状である。そこで、本研究においては、地方自治体の自区域内における再生資源の利用促進、階層的処理システム整備を行うために、生ゴミを安全かつ適正に処理またはリサイクルするための 1 つの方法論を検討することとしている。一般廃棄物排出量推計モデル・収集運搬モデル・施設計画モデルを定式化することにより、生ゴミ処理システム整備計画モデルの解法について論じている。

キーワード： 環境計画 地域計画

Keywords : Environmental planning Regional planning

1. はじめに

現在、可燃性ごみの約 3 割を占める生ゴミについては、従来は農業資材として飼料や肥料として利用されてきたが、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。生ゴミは組成の大部分が水分であるため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おり、**自区域内における再生資源の利用促進などの観点からも地方自治体の生ゴミ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。また、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。そして、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・運搬の総費用の最小化を目的関数とした数理計画問題として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、滋賀県草津市を対象に実証分析を行った。

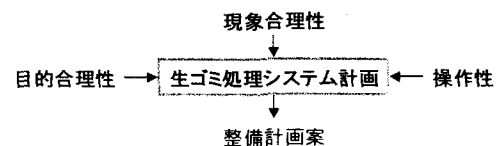


図 2-1 計画システム分析の満たすべき要件

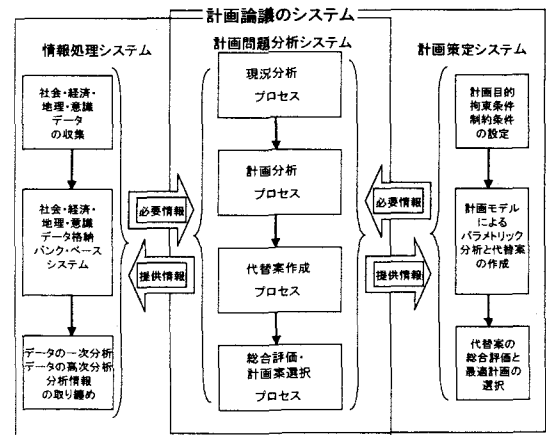


図 2-2 プロセス・システムの概念構成図

2. 計画システム分析に関する検討

生ゴミ処理問題(廃棄物問題)の解決を考える場合、排出、収集・運搬、処理・リサイクル段階を総合的な検討を加えていくこと、財政面からこの問題にアプローチし、健全な運

1 : 正会員 工博 立命館大学 教授 理工学部環境システム工学科

(滋賀県草津市野路東1-1-1、Tel, Fax :077-561-2736、)

2 : 非会員 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

3 : 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

営が可能であるかどうかを検討することが重要である。これらは、現象合理性・目的合理性であり、データ・情報の操作性の高さと併せて、計画システム分析が担うべき性格であると考えられる。計画システム分析の概念を図2-1、2-2に示す。

3. 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3-1に示す。

4. 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^{re} house(t) = \sum_{n \in N} q_i^n house \cdot S_{re}^n(t) \tag{1}

q_i^n house = f(u_i) = \alpha_i \ln(u_i) + \beta_i \tag{2}

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

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} house(t) : t期にリージョン内から排出される
家庭系一般廃棄物iの年間排出量(t/年)

q_i^n house : 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人世帯数

u_i : 家庭系一般廃棄物iを排出する際の
住民の減量化意識レベル

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, \alpha_i', \beta_i' : 各種パラメータ

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、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

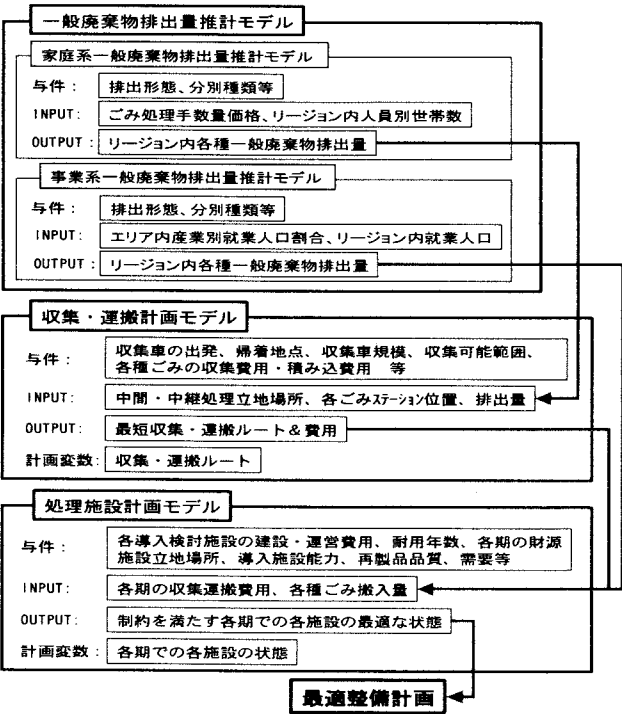


図3-1 生ゴミ処理システム計画モデルの概要

表4-1 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4-2 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

表4-3 家庭系厨芥ごみ排出量の推計値(t/year)

	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	640.8176762	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

表 4-4 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 4-5 事業厨芥ゴミ排出量の推計値 (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

[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 4-4 に示す。また、表 4-5 に本推計モデルの排出量推計値を示す。

5. 生ゴミ処理システム計画モデルの定式化

(1) 収集運搬モデルの定式化

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。

$$\sum_{i,j} c_{ij} \cdot \delta_{ij} + s \times r \rightarrow \min \quad (i \neq j) \quad (4)$$

$$\sum_{i \neq i'} \delta_{ij} = 1 \quad i' : \text{中継施設もしくは中間処理施設} \quad (5)$$

$$\sum_{j \neq j'} \delta_{ij} = 1 \quad j' : \text{中継施設もしくは中間処理施設} \quad (6)$$

$$u_i - u_j + n \delta_{ij} \leq n - 1$$

$$i, j = 0, 1, \Lambda, n \quad (i \neq j)$$

$$\sum_{i \in I_z} w_i \leq b' \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I_z} w_i^k \leq b_k \quad (8)$$

C_{ij} : ゾーン内 station i から j までの収集運搬コスト

δ_{ij} : ルート ij を選択する時 1、しない時 0 のクロネッカーデルタ

w_i : station i でのゴミ排出量 (t/日)

w_i^k : 施設 k に搬入されるゴミ量 (t/日)

b' : 車両積載限界量 (t/台)

b_k : 施設 k の限界処理量 (t/日)

u_i : 収集車が station i に到着する際、始点から数えて t 番目にあるとき、 $u_i = t$ となる補助変数

n : ゾーン内の station の総数

(2) 生ゴミ処理施設立地計画モデルの定式化

本研究で構築する生ゴミ処理施設計画モデルは、排出された家庭系及び事業系一般廃棄物中の生ゴミを計画期間 T において処理・リサイクルされる過程を想定したとき、どのような処理施設(種類)をどのくらいの規模で建設し、運営していくのかを計画期間 T でのトータルコストの最小化を目的関数として決定するモデルである。

$$\sum_{t=1}^T f(t) \Rightarrow \text{Min} \quad (9)$$

$$f(T) \leq 0 \quad (10)$$

$$T_s \leq T_l \quad (T \text{ 期での償還制約}) \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J w_i^j \leq w_{i \max}^j \quad (12)$$

$$\sum_{t=1}^T g(t) \leq G \quad (13)$$

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

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

$$g(0) = 0 \quad (16)$$

$f(t)$: t 期でのトータルコスト

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

$h(t)$: 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

$r(t)$: t 期における利息

T_s : 建設されてからの年数

T_l : 耐久年数

$w_i^j(t)$: t 期における施設の種類 i 、設置場所 j への搬入量

$w_{i \max}^j$: t 期における施設の種類 i 、設置場所 j への搬入量で処理限界量 (収集運搬モデル段階でクリアされる)

$g(t)$: 各期の埋め立て量

$$g(t) = \sum_{ij} w_{ij}^j(t) \cdot \alpha_{ij}^j(t) \cdot \theta(t)$$

$w_{ij}^j(t)$: t 期における施設の種類 i 、設置場所 j への搬入量

$\alpha_{ij}^j(t)$: 施設 ij の残渣率

$\theta(t)$: 収集ゴミから利用可能ゴミ抽出の際の減量率

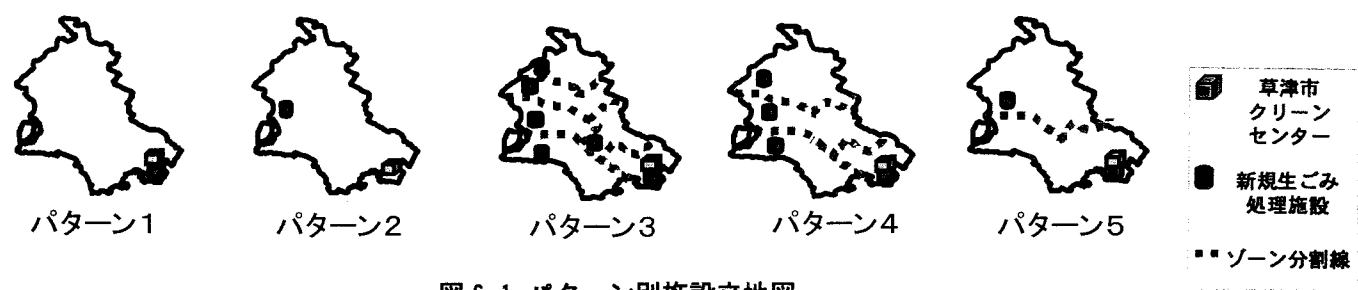


図 6-1 パターン別施設立地地図

表 6-1 パターン別収集運搬コストテーブル (千円/年)

	1期	2期	3期	4期	5期	6期	7期	8期	9期	10期
パターン1	136,916	136,985	137,053	137,122	137,190	137,259	137,328	137,396	137,465	137,534
パターン2	131,219	131,284	131,350	131,416	131,481	131,547	131,613	131,679	131,745	131,811
パターン3	96,869	96,917	96,966	97,014	97,063	97,111	97,160	97,208	97,257	97,306
パターン4	103,797	103,849	103,901	103,953	104,005	104,057	104,109	104,161	104,213	104,265
パターン5	117,766	117,825	117,884	117,943	118,002	118,061	118,120	118,179	118,238	118,297

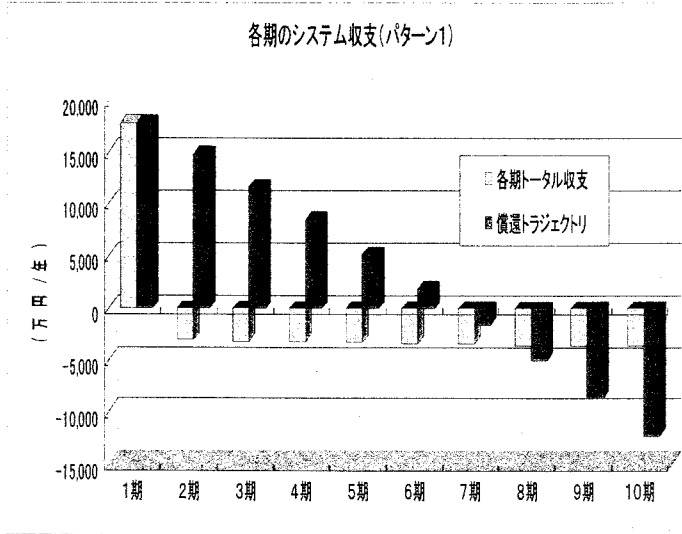


図 6-2 各期におけるシステム収支推移 (パターン1)

6. 生ゴミ処理システム計画モデルの実証分析

以上に定式化したモデルを用い、滋賀県草津市における生ゴミ処理システム計画モデルの実証分析を行う。一般廃棄物量の推計については、先にその推計結果を示しているの、ここでは収集運搬計画モデル及び、生ゴミ処理システム計画モデルの適用結果を示す。

本研究では、施設の規模・数の違いにより5つのパターンによって検討を行った。図 6-1 にパターン別施設立地地図を、また表 6-1 にパターン別の収集運搬コストテーブルを示す。また図 6-2 に生ゴミ処理施設立地計画モデルの適用結果を示す。これは各期のトータル収支とその償還トラジェクトリを表す図である。この償還トラジェクトリ図は、パターン1 以外は紙面の都合上割愛する。

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して、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構築、統合さらには現実レベルでの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提案を行った。

謝辞：最後に、本論文を結ぶにあたり、本研究の遂行に際して、ご指導・ご鞭撻・ご協力いただいた多くの方々に感謝の意を述べさせていただきます。

参考文献

- 1) 廃棄物学会編：廃棄物ハンドブック
- 2) (財)クリーン・ジャパン・センター：循環型社会キーワード、2002.1
- 3) 元田欽也共著：廃棄物処理・リサイクルの実務計算、オーム社出版、2002.5
- 4) 酒井伸一共著：循環型社会 科学と政策、有斐閣アルマ、2000.12
- 5) 上田和弘：廃棄物とリサイクルの経済学、有斐閣、1992
- 6) 加納秀明：システムの最適理論と最適化、コロナ社、1971.2
- 7) オフィスゼロ：環境・リサイクル施策データブック、2002.7
- 8) 草津市：一般廃棄物処理基本計画