

ことがわかった。また LLS 法と 2-stage 法は状況によって使い分けられればかなり有効であるといえる。これらの検証結果を意思決定を行なう際に参考にし、どの方法がよいか吟味していただきたい。

参 考 文 献

[1] Thomas L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, Decision Support Software Inc., 1988.
 [2] I. Takahashi, Analysis of AHP by BIBD, *J. of O. R. Society of Japan*, Vol. 33, No. 3, March 1990.
 [3] I. Takahashi, AHP analysis of Binary and Ternary Comparisons in incomplete informa-

tion, *Institute of Socio-Economic Planning, Discussion Paper Series No. 420*, October 1989.

[4] E. Takeda and P. L. Yu, Eliciting the Relative Weight from Incomplete Reciprocal Matrices, *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 1988.
 [5] 伊理正夫, 藤重 悟, 大山達雄, *グラフ・ネットワーク・マトロイド*, 産業図書, 1986.
 [6] 刀根 薫, *ゲーム感覚意思決定法*, 日科技連出版社, 1988.
 [7] 刀根 薫, 真鍋龍太郎, *AHP 事例集*, 日科技連出版社, 1990.

ごみ処理施設の最適配置に関する研究

— 一時系列 ARIMA モデルと混合型整数計画モデルの適用 —

室谷 洋一 (埼玉大学大学院政策科学研究科)
 (現所属: 横浜市役所)
 (指導教官 大山 達雄)

1. 研究の目的

横浜市では、ごみの焼却処理に取り組む、100% 焼却を達成している。しかし、ごみ排出量は年々増加し、しかも、最初に建設した焼却工場の寿命もあと数年にせまっているため、今後なお数カ所の工場が必要になると予想されている。本研究では、現在計画中の横浜市における「将来のごみ処理施設の建設計画」に対して、時系列 ARIMA モデルと混合型整数計画モデルを適用して、ごみ処理量の将来予測と経済的な輸送計画を考慮した最適建設計画の作成を試みる。

2. 研究の概要

研究の枠組みは下の構成図にもとづく。データは、横浜市環境事業局事業統計(昭和44~平成元年度)を使用する。

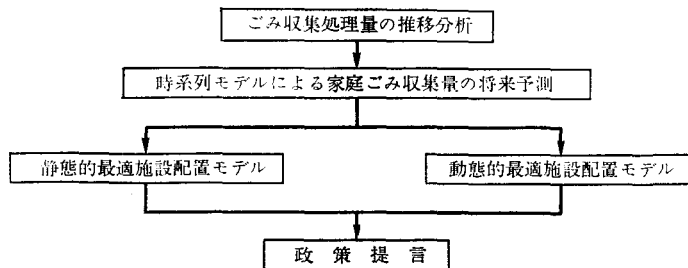


表 1 回帰モデルパラメータ推定結果

年 度	55	56	57	58	59	60	61	62	63	平元
a_1	0.208	0.216	0.219	0.217	0.220	0.220	0.226	0.229	0.237	0.245
b_1	0.662	0.682	0.694	0.683	0.687	0.683	0.697	0.702	0.720	0.737
b_1/a_1	3.18	3.16	3.17	3.14	3.12	3.10	3.08	3.07	3.03	3.01
1 世帯 人	3.00	2.98	2.95	2.93	2.91	2.91	2.89	2.86	2.83	2.79

3. ごみ収集処理量の推移分析

家庭ごみ収集量を地域的に検討する。i 事務所の収集

量を Y_t , 人口を P_t , 世帯数を H_t とし, 次の回帰モデル式にもとづいてパラメタ a_0, a_1, b_0, b_1 を推定する. データは, 昭和55~平成元年度の年度別データを用いる.

$$Y_t = a_0 + a_1 P_t \quad (1)$$

$$Y_t = b_0 + b_1 H_t \quad (2)$$

ここで, $\bar{R}_2 = 0.96 \sim 0.99$ とモデルの適合度は高い. a_1 は1人当たりの年間ごみ排出量, b_1 は1世帯当たりの年間ごみ排出量を意味する. a_1, b_1 の経年変化を見ると, わずかずつ増加しているが, a_1 の伸びは b_1 の伸びより大きい. これは, 都市化に伴う核家族化の進行によるものと考えられ横浜市における1世帯当たりの人数, と b_1/a_1 の相関係数は, 0.975と非常に高い.

4. 時系列モデルによる家庭ごみ収集量の将来予測

(1) 回帰モデルによる将来予測

事務所別家庭ごみ収集量の経年変化(昭和55~平成元年度)と地域特性の関係について時系列分析を行なう. 回帰モデル式の組み立てにあたって選択重回帰分析を行ない, 説明変数として世帯数を選択する.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 H_t \quad (3)$$

Y_t : t 年度の家庭ごみ収集量

H_t : t 年度の世帯数

β_0, β_1 : パラメタ

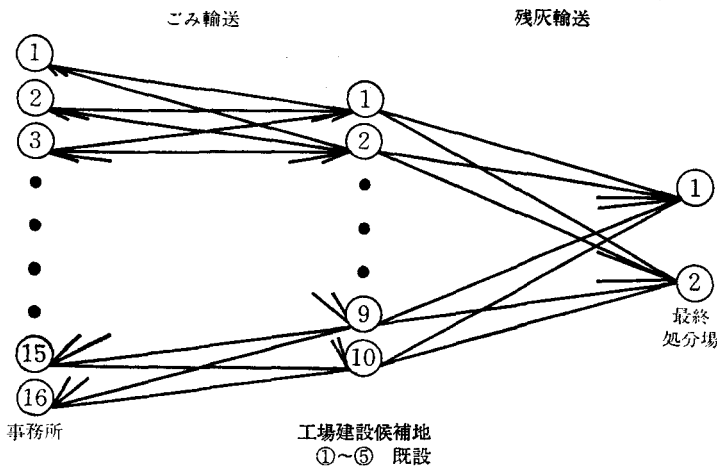


図2 ごみ処理のプロセス

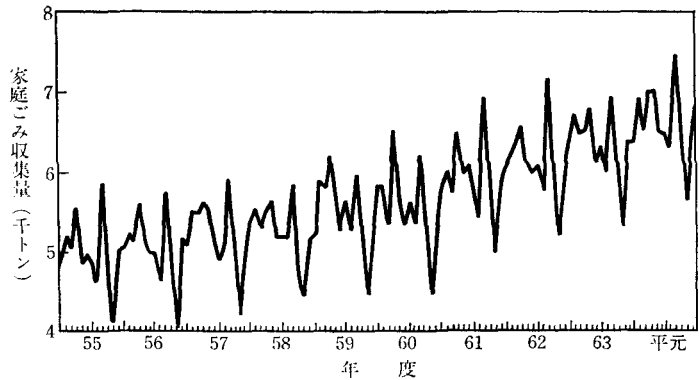


図1 鶴見事務所の家庭ごみ収集量

上の回帰モデル式を用いて, 事務所別家庭ごみ収集量の将来予測を行なう. 世帯数の将来予測には, 横浜市の推計値を用いる.

(2) ARIMAモデルによる将来予測

ARIMA(0, 1, 1) × (0, 1, 1)₁₂ は, 昭和55年4月から平成2年3月までの家庭ごみ事務所別・月別データ(図1参照)に適合度が高い. さらにこのモデルにもとづいた平成2年4月から12月までの期間の予測値は高精度である.

5. 静態的最適施設配置モデル

(1) 混合型整数計画モデルの定式化

図2のように, ごみ処理のプロセスをネットワーク化し, 輸送費用と焼却工場建設費用の総和を評価基準とし, その基準で最適な工場建設候補地の選択の計画を行なう. ここで, $I = \{1, 2, \dots, 16\}$ を事務所の添字集合, $J = \{1, 2, \dots, 10\}$ を建設候補地の添字集合, $K = \{1, 2\}$ を最終処分場の添字集合, $T = \{1, 2, \dots, 10\}$ を年度の添字集合, $i \in I, j \in J, k \in K, t \in T$ とする.

変数

x_{ijt} : t 年度に第 i 事務所でごみ収集し, 第 j 工場へ輸送する家庭系ごみの量

y_{jt} : t 年度に第 j 工場で受け入れられる事業系ごみの量

z_{jkt} : t 年度に第 j 工場が発生し, 第 k 最終処分場へ輸送する焼却残灰の量

w_j : 第 j 工場を建設するか否かを決定する 0-1 型
整数変数, $w_j \in \{0, 1\}$

制約条件

(i) 家庭系ごみ収集量の条件

$$\sum_{j \in J} x_{ijt} = s_{it} \quad (4)$$

(ii) 事務系ごみ受け入れ量の条件

$$\sum_{j \in J} y_{jt} = r_t \quad (5)$$

(iii) 工場の操業度の制約

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} + y_{jt} \leq \beta c_j w_j \quad (6)$$

(iv) 工場における物質収支バランス条件

$$\sum_{k \in K} z_{jkt} = l \left(\sum_{i \in I} x_{ijt} + y_{jt} \right) \quad (7)$$

(v) 非負条件および整数条件

$$x_{ijt} \geq 0, y_{jt} \geq 0, z_{jkt} \geq 0, w_j \in \{0, 1\}$$

目的関数

$$\begin{aligned} \text{Minimize } C = & \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} a_{ijt} x_{ijt} \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_{jkt} z_{jkt} + \sum_{j \in J} f_j w_j \end{aligned} \quad (8)$$

a_{ijt} : x_{ijt} に関する単位収集・輸送費用

b_{jkt} : z_{jkt} に関する単位輸送費用

c_j : 第 j 工場の容量

f_j : 第 j 工場の建設費用

l : 物質収支のバランスを表わす係数

r_t : t 年度事業系ごみ受け入れ量

s_{it} : 第 i 事務所における t 年度家庭系ごみ収集量

β : 工場の操業度の上限

(2) 計算結果

整数変数に関する最適解として $w_6 = 1$ という結果が得られ、鶴見工場を建設することになる。

(3) 限界費用の計測とパラメトリック分析

家庭系ごみ収集量の制約条件式 (4) のシャドウプライス (限界費用) は、期別、事務所別のごみ収集量が単位置 (1 トン) だけ増加したときにどれだけのコスト増があるかを示すものである。この限界費用を期別、事務所別に計測すると、それぞれの期にそれぞれの事務所における限界費用を、ごみ単位置当たりの平均処理費用と比較することによって、事務所別の効率性の評価を行なうことも可能である。

また、この整数計画モデルの目的関数の係数である輸送費用と建設費用をそれぞれパラメタとして扱うことによって、最適解の推移をみる事ができる。たとえば、建設費用のパラメトリック分析を行なうと、処理工場の建設費用と最適解における工場建設数との関係も定量的に得られ、建設費用が高くなると工場建設数が少なくなる関数関係が明らかになる。同様に輸送費用のパラメトリック分析によって、輸送費用と最適工場建設数との関係、建設費用との相対関係による最適ごみ輸送パターンの推移が詳細に得られる。

限界費用の計測と分析および建設費用、輸送費用のパラメトリック分析についての詳細は、本文を参照されたい。

6. 動的的最適施設配置モデル

現実のごみ処理工場の建設問題は、長期的かつ動的的な計画問題である。したがって、数学モデルとしては、静態的最適施設配置モデルをさらに拡張して、計画対象期間を動的に扱う必要がある。そうすることによって最適な工場建設地および建設時期を同時に決定することが可能となる。動的的最適施設配置モデルについても、定式化、数値実験結果が本文に記されているので参照されたい。

