

数理計画モデルによる家庭ごみ処理システムの最適化

札幌市 粟崎 寿也 AWASAKI Toshiya
埼玉大学 大山 達雄 OYAMA Tatsuo

1. はじめに

我が国における一般廃棄物の総排出量は毎年増加を続け、ごみ問題は全国各地で重要な課題となっている。本研究においては、札幌市の家庭ごみ処理システムを対象として、ごみ収集・輸送計画問題等に数理計画最適化モデルを適用して分析する。

2. 家庭ごみ収集・輸送コスト最小化モデル

札幌市の家庭ごみの中心は一般ごみ(約76%)であり、清掃事務所($i \in I = \{1, \dots, 7\}$)所管する収集地区($j \in J = \{1, \dots, 18\}$)で排出される家庭ごみが清掃工場($k \in K = \{1, \dots, 5\}$)へ収集・輸送され、焼却後、焼却灰が埋立地($l \in L = \{1, 2, 3\}$)まで輸送されるまでの総収集・輸送費用が最小となるフローを月別($t \in T = \{1, \dots, 12\}$)に求めるモデルを定式化する。

(変数)

x_{jt} : j 収集地区から k 清掃工場への t 月における収集・輸送ごみ量, $j \in J, k \in K, t \in T$
 y_{kt} : k 清掃工場において t 月から $t+1$ 月に持ち越されるごみ量, $k \in K, t \in T$
 z_{kl} : k 清掃工場から l 埋立地への t 月における輸送・焼却灰量, $k \in K, l \in L, t \in T$

(パラメータ)

p_{ij} : i 清掃事務所の所管する j 収集地区のごみ収集量が、 i 清掃事務所のごみ総収集量に占める割合(ごみ収集割合), $i \in I, j \in J$

$$\sum_{j \in J} p_{ij} = 1 \quad i \in I \quad (1)$$

(制約条件)

(a) 収集地区別家庭ごみ処理量制約

$$\sum_{j \in J} x_{jt} = \sum_{i \in I} p_{ij} R_i \quad j \in J, t \in T \quad (2)$$

R_i : i 清掃事務所所管の全収集地区の t 月における収集・輸送ごみ量, $i \in I, t \in T$

(b) 清掃工場におけるごみ処理量と焼却灰の関係を表す条件

$$\sum_{l \in L} z_{kl} = E \left(\sum_{j \in J} x_{jt} + S_{kt} + y_{k,t-1} - y_{kt} \right) \quad k \in K, t \in T \quad (3)$$

S_{kt} : k 清掃工場の t 月における自己搬入ごみや粗大ごみの受入量, $k \in K, t \in T$

F_k : ごみ量と焼却灰のバランス係数

(c) 清掃工場のごみ焼却能力制約

$$\sum_{j \in J} x_{jt} + y_{k,t-1} - y_{kt} \leq F_k - S_{kt} \quad k \in K, t \in T \quad (4)$$

F_k : k 清掃工場の t 月におけるごみ焼却能力, $k \in K, t \in T$

(d) 清掃工場のごみ持ち越し可能量制約

$$y_{kt} \leq O_{kt} \quad k \in K, t \in T \quad (5)$$

O_{kt} : k 清掃工場の t 月における翌月への持ち越し可能ごみ量, $k \in K, t \in T$

(e) 埋立地における焼却灰受入能力制約

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} z_{kl} \leq U_l \quad l \in L \quad (6)$$

U_l : l 埋立地における当該年度の埋立可能量, $l \in L$

(目的関数)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} A_{jk} x_{jt} + \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} B_k y_{kt} + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} C_{kl} z_{kl}$$

A_{jk} : j 収集地区から k 清掃工場へのごみ単位量当たり収集・輸送費用, $j \in J, k \in K$

B_k : k 清掃工場におけるごみ単位量当たりの持ち越し費用, $k \in K$

C_{kl} : k 清掃工場から l 埋立地への焼却灰単位量当たり輸送費用, $k \in K, l \in L$

計算結果

平成5年度の実績値と比較すると、総費用は輸送先の変更による収集輸送費用の減少によって約14%(9億円)減少する。

3. 最適ごみ収集割合決定モデル分析

総収集輸送費用をさらに削減する方法として、ごみ単体量当たりの収集輸送費用の小さい地区のごみ収集量を増加するか、収集輸送費用の大きい収集地区の収集量を減少させることが有効と考えられる。清掃事務所所管の収集地区の線引きを変更し、総収集輸送費用を最小化する収集地区のごみ収集量(収集割合)と収集輸送計画を決定するモデルである。

ごみ収集割合の設定

(a)Max-Min法：収集地区の最小収集輸送費用が地域内で最大の収集地区のごみ収集割合を隣接地区に移管し減少させる方法。

$$\max_{j \in J} \min_{k \in K} A_{jk} \quad (7)$$

J ：清掃事務所所管の収集地区の添字集合

(b)Min-Min法：最小収集輸送費用が地域内で最小の収集地区の割合を増加させる方法。

$$\min_{j \in J} \min_{k \in K} A_{jk} \quad (8)$$

最適ごみ収集割合決定モデル

(変数) x_{jk}, y_{kt}, z_{kt} ：家庭ごみ収集輸送コスト最小化モデルと同じ。

θ_i ：清掃事務所所管地域内における収集地区の収集割合の変化量

(制約条件)

(a) 家庭ごみ収集輸送に係わる制約条件 式(3)～式(6)

(b) 清掃事務所別ごみ処理量制約

$$\sum_{j \in J} q_{ij} = I_i \quad i \in I \quad (9)$$

$q_{ij} = p_{ij} + \theta_i \quad i \in I_m$ ： j 収集地区がごみ集割合の移管先るとき

$= p_{ij} - \theta_i \quad i \in I_m$ ： j 収集地区がごみ集割合の移管元るとき

$= p_{ij} \quad i \in I_m$ ： j 収集地区が上記以外るとき

p_{ij} ： i 清掃事務所、 j 収集地区の収集割合、 I_m ：変更対象となる清掃事務所の集合

(c) 収集地区別家庭ごみ処理量制約

$$\sum_{k \in K} x_{jk} = \sum_{i \in I} R_i q_{ij} \quad j \in J, i \in T \quad (10)$$

R_i ：清掃事務所所管の全収集地区の月における収集輸送ごみ量

(d) 上下限制約

$$\underline{\theta}_i \leq \theta_i \leq \bar{\theta}_i \quad i \in I \quad (11)$$

(目的関数) 式(7)

計算結果

地区1→2、地区4→5、地区7→8、地区11→12、地区15→16、地区17→18の6つの地区についてモデルを適用した結果、総収集輸送費用は5,456,998,535円となり、家庭ごみ収集輸送コスト最小化モデルより約0.77%減少する。パラメータは、地区7→8(θ_7)を除き全て上限値をとる。収集曜日が同一のため自由変数である θ_7 は-0.09が最適値となる。

4. まとめと今後の課題

札幌市のごみの収集輸送計画を変更することにより、ごみ収集輸送費用の大幅な削減が可能であることがわかる。最適ごみ収集割合決定モデルによる分析では、ごみ収集割合の最適変更により、収集輸送費用がさらに削減可能であることが明らかとなる。ごみ量の季節変動・不確実性をモデルに導入することにより、予測ごみ量に最も適合度が高い現実的な収集輸送計画の策定について考察することが有用と考える。清掃工場整備計画モデルの構築によりトータルなごみ処理システムモデルを構築することが今後の課題である。