

国立公衆衛生院衛生工学部 正員 田中 勝  
 東京工業大学社会工学科 阿部 統  
 太陽神戸銀行 小林陽一

1. はじめに

廃棄物処理問題は、さまざまな側面から解決努力がなされている。ここで扱う問題は多くの費用を要し、また現在の廃棄物処理のネットワークともいわれる廃棄物の収集・輸送の部分に焦点を定め、いかにすれば効率の良い収集・輸送が行なわれるかを、特に輸送について検討を行なう。そこで今後現状の諸問題を解決、改善していくうえで、有効かつ実現可能な具体的方法として、中継輸送システムの導入ということについて考え、これにより現在の輸送システムの無駄を省いたより効率的システムを考えようというのが、本研究のねらいである。

廃棄物の輸送に要するコストを最小にするような最適システムを、数学モデルを用いて導き出す。すなわち、中継基地の最適な場所、規模、設置数の決定を行ない、さらに最適な配送計画まで決定する。なお収集部門に関しては、最適なルートを選択など、さまざまな問題があるが、この部分では中継基地の導入の仕方により左右されないと考えた。すなわち、中継基地の導入についての最適システムを考える際、収集部門の経費は変らぬとして、輸送部門だけに絞って最適輸送システムを考えようことにした。

本研究では、研究対象区域として東京都の一部について検討してみた。東京都の石神井、練馬（以上練馬区）杉並西、杉並東（以上杉並区）、中野（中野区）清掃事務所が扱う区域を考える。この区域では、可燃ごみと焼却不適ごみとに分けて収集されており、可燃ごみは比較的近くにある焼却場まで運ばれており、焼却残渣はすべてに効率の良い輸送システムが取り入れられていると考え、ここの対象からはずした。したがってここで扱う都市ごみは、焼却不適ごみとした。

2. 中継輸送システムのための数学モデル

モデルの設定を行なうにあたり、次のような仮定を設けた。

- (1) 各地区のごみは、実際には地区全体から排出されるわけであるが、収集地から中継基地、あるいは収集地から処理場までの距離を求める関係上、ごみの発生地点と点と考え、その位置は各地区の中心とする。
- (2) 各地区ごとに中継基地を立地すべきかどうかを検討するわけであるが、もし立地するとしたら地区内のどこに建てるかについては、各地区の中心点を候補地とする。
- (1)(2)の仮定に基づき、次の数学モデルを考える。最小にする目的関数、制約条件は次のとおりである。

$$\text{Min. } \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_i C'_{j} x'_{ij} + \sum_j a_j y_j + \sum_j b_j x_{ij} \quad \text{----- (1)}$$

Subj. to

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_j x_{ij} = g_i \quad \text{----- (2)}, \quad \sum_j x_{ij} \leq m_j y_j \quad \text{----- (3)} \\ y_j = \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_i x_{ij} > 0 \\ 0 & \text{if } \sum_i x_{ij} = 0 \end{cases} \quad \text{----- (4)} \end{array} \right. \quad x_{ij} \geq 0 \quad \text{----- (5)}$$

$x_{ij}$ : i地区からj中継基地への1日のごみの輸送量 (t/日)

$C_{ij}$ : i地区からj中継基地へごみを輸送するのに要するトン当り輸送コスト (円/t)

$C'_j$ : j中継基地から最終処分場へごみを輸送するのに要するトン当り輸送コスト (円/t)

$a_j$ : j中継基地に関する固定費用 (円/日)

$b_j$ : j中継基地に関する変動費用 (円/t)

$g_i$ : i地区の1日のごみ発生量 (t/日)

$m_j$ : j中継基地の施設規模制限 (t/日)

中継輸送、直送方式を簡単に図で示すと図1のようになる。

ここで各係数の求め方について説明する。

(1) 輸送コスト  $C_{ij}$ ,  $C'_{ij}$

ここでは輸送コストは距離に比例して高くなると仮定すれば、消費燃料、タイヤ交換、機器、人件費（運転手）、保険、税金等から輸送コストは計算されると考えられる。したがって輸送距離  $L$  と輸送するのにかかるトン当りの経費は次の式から求められる。

$$C_{ij}, C'_{ij} = (T_1 + T_2 + \dots + T_5) \times 2L / W \dots (6)$$

$T_1$ : 燃料費  $T_2$ : タイヤチューブ交換費  $T_3$ : 機器費  
 $T_4$ : 人件費  $T_5$ : 保険、税金  $W$ : ごみ輸送トン数 (t/日)  
 $L$ : 収集地から中継基地 ( $C_{ij}$  の場合) 又は中継基地から最終処分場 ( $C'_{ij}$  の場合) までの距離 (km)

なお2地点間の距離は、2地点の東西方向の距離に南北方向の距離を加えたものを道路の距離として使用した。

(2) 中継基地に関する費用

中継基地に関する費用として、用地費、施設建設費等初期投資額と、施設の運転維持管理費等施設の使用対象廃棄物量に比例する部分がある。中継基地の施設規模と投資額との関係は、便宜上線形近似を行なった。したがって中継基地に関する費用は施設の規模に比例しない部分  $C_0$  と、施設規模  $S$  に正比例する部分からなると仮定した。

3. ケース・スタディ

ケース・スタディとしては、前述の5清掃事務所が扱う区域を対象に実際のデータを入力してモデル分析を行なった。収集車は2トン積みパッカー車、中継基地からの輸送車は10トン積みのコンテナ車（運転手1人）を想定した。コストに関する定数、収集対象廃棄物量を推定して、前節で示した線形計画モデルを使い、最適輸送方式を出してみた。収集班の作業員数を3人と1人の場合について、施設の規模制限及び用地費を基準値の何倍にするかについての組合せで、どこにどの程度の施設を作らなければならないかの結果を示したのが右に示す表である。表1に示すように作業員3人の場合、いずれの場合も直送方式に比べて中継輸送が有利という結果であった。用地費を3倍、4倍にしても同様であった。作業員1人の場合も、表2に示すようにほとんどのケースで中継輸送が有利という結果になったが、それ程直送方式との差がなくなっている。

4. おわりに

輸送距離が長くなる場合には、輸送効率をあげるために中継輸送方式が多く自治体で検討されている。直送方式との比較評価に数学モデル（この場合線形計画モデル）を作り、東京の最終処分場から比較的遠い一部の地区にケース・スタディとしてこれを応用してみた。収集作業班のサイズ、施設規模、用地の取得費と変化した場合の最適輸送システムを、線形計画法で解いてみた。この結果、現場での応用にはまだ修正すべき点があるにしても、ここに提案した数学モデルが最適輸送システムの選択に役立つことがわかった。なお本研究は小林の東京工業大学社会工学科に在学中に行なったものである。

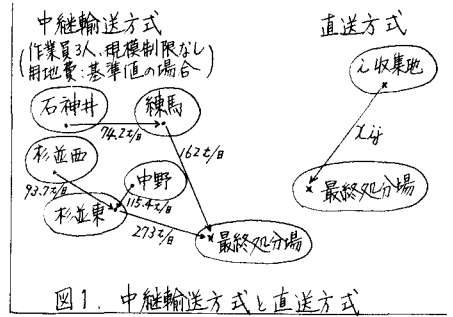


図1. 中継輸送方式と直送方式

表1. 作業員3人の場合の中継基地の規模 (t/日)

| 施設制限<br>区域 | 無制限       |     | 200 t/日 |     | 100 t/日 |     | 直送  | 収集対象<br>廃棄物量<br>(t/日) |
|------------|-----------|-----|---------|-----|---------|-----|-----|-----------------------|
|            | 用地費<br>基準 | 2倍  | 基準      | 2倍  | 基準      | 2倍  |     |                       |
| 石神井        |           |     |         |     | 74.9    | 100 |     | 74.9                  |
| 練馬         | 162       | 162 | 162     | 200 | 86.9    | 100 |     | 86.9                  |
| 杉並西        |           |     |         |     | 93.7    | 100 |     | 93.7                  |
| 杉並東        | 273       | 273 | 158     | 200 | 79.4    | 100 |     | 64.0                  |
| 中野         |           |     | 115     |     | 100     |     |     | 115.4                 |
| 総費用(円)     | 196       | 219 | 201.8   | 236 | 220.8   | 286 | 406 | 434.9                 |

(注) 空欄は中継基地を設置しない。

表2. 作業員1人の場合の中継基地の規模 (t/日)

| 施設制限<br>区域 | 無制限       |       | 200 t/日 |       | 100 t/日 |       | 直送    | 収集対象<br>廃棄物量<br>(t/日) |
|------------|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-----------------------|
|            | 用地費<br>基準 | 2倍    | 基準      | 2倍    | 基準      | 2倍    |       |                       |
| 石神井        |           |       |         |       |         |       |       | 74.9                  |
| 練馬         |           |       | 200     | 200   | 100     |       |       | 86.9                  |
| 杉並西        |           |       |         |       |         |       |       | 93.7                  |
| 杉並東        | 435       | 435   | 200     |       |         |       |       | 64.0                  |
| 中野         |           |       |         |       |         |       |       | 115.4                 |
| 総費用(円)     | 171.9     | 185.5 | 179     | 193.5 | 196     | 199.4 | 199.4 | 434.9                 |

(注) 空欄は中継基地を設置しない。