

国立公衆衛生院衛生工学部 正員 田中 勝

## 1. はじめに

大都市あるいは広域区域内での廃棄物処理においては、(1)廃棄物の収集区域から処理・処分施設までの距離の遠距離化、(2)交通事情の悪化により、輸送速度の遅延化、(3)輸送車の公害等の問題に当面し、輸送システム全体の見直しが要請されている。

本報告では都市廃棄物輸送システムを検討する場合、経済性と考慮した最適輸送システムの選択についての数学モデルを提案し、輸送システム選択における主な留意事項について考察を行なった。

廃棄物処理する責任主体は、最も望ましい形で処理しようと計画を立てるはずである。最も望ましい形というのは、その地域特性及び処理主体の評価軸によって異なる。評価項目としては、(1)経済性、(2)環境影響、(3)利便性等があげられる。しかし基本となる評価軸としては、定量的に表わされる費用が最もよく使われる。ここでは処理責任主体が、費用最少の処理システムを選択するという前提で輸送問題を扱う。ここでいう処理システムとしては、収集された廃棄物を選択し、中間処理して最終処分するまでのシステムをいう。ここでは処理・処分システムが与えられていれば、これらの施設を用いるような輸送システムを選択する問題になるが、もし処理施設が決められていない場合には、いくつかの立地された処理施設の候補から、輸送も含めた最適な処理システムを選ぶ問題となる。

## 2. 処理システムの代替案

処理システムのサブシステムとしては、収集・輸送、中間処理、最終処分があり、それぞれが多くの代替案を持つ。たとえば、収集サブシステムについての代替案をみた場合、表1のような組み合わせが考えられる。輸送についても表2のようにいくつかの代替方式がある。中間処理も、(1)何も使わない、(2)焼却、(3)コンポスト処理又は、(4)と(3)の組み合わせが考えられる。最終処分も埋立処分、海洋投棄があるが、これらの立地、処理規模、方式の組み合わせにより、無数のサブシステムが考えられる。これらサブシステム(収集、輸送、中間処理、最終処分)の組み合わせの中から最適な処理システムを選択すること、処理主体に課せられている訳である。図1は発生地点から最終処分までの流れを示す。この図のように、いくつかの廃棄物収集地点から最終処分地点までに、中間処理、中継基地がある。中間処理施設と減容化する中継基地と考えれば、輸送代替案の選択は、収集地点から複数の中継基地(無い場合もある)を経て、最終処分場まで輸送される輸送システムの選択としてみることが出来る。しかし、中間輸送システムによって最終処分コストも変わってくるために、結局は中間処理、最終処分まで含めたトータルコストで評価する最適処理システムの選択ということになる。

表1 廃棄物収集サブシステム

| 収集方法  | 分別    | 排出容器        | 収集方式   | 収集機材等                      |
|-------|-------|-------------|--------|----------------------------|
| ・収集あり | ・分別収集 | ・袋(プラスチック)等 |        | ・トラック輸送(トラック、押込車)          |
|       |       | ・プラスチック容器   |        | (大が、積載容量作業班が対応)            |
| ・収集なし | ・混合収集 | ・プラスチック容器   | ・スプレーン | ・パイプ輸送(空気圧送方式、スラーク、空気圧送方式) |
|       |       | ・共同コンテナ     |        |                            |

表2 タイプ別中継輸送の特徴

| 中継輸送タイプ | 特徴                                        | 実施都市                                              |
|---------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| トラック輸送  | 遠距離輸送に適する<br>施設は比較的簡便                     | ベルリン、グラス<br>東京                                    |
| 船舶輸送    | 大量・遠距離輸送に適する<br>港に特殊施設が必要である              | ロンドン<br>東京、大阪                                     |
| 鉄道輸送    | 大量・遠距離輸送に適する<br>投入施設が問題<br>既存の鉄道引込み線が有効利用 | ロンドン<br>オランダ                                      |
| パイプ輸送   | 全自動で衛生的<br>建設費が高い<br>ニュータウンのような一定地域に限られる  | 大阪市(新築式<br>トナリ)、カサマ<br>カン、芦屋市<br>(芦屋港) 茨城<br>学園都市 |

## 3. 輸送システム選択のための数学モデル

ここで輸送モデルを考える場合に、輸送コストは対象廃棄物、中間処理、最終処分、中継輸送システムによって異なるため、モデルを考える上で、次のいくつかのケースについて検討を行なう。

〔ケースⅠ〕 中間処理施設がなく、収集地点から1つの最終処分場（発生源）まで運ぶ場合。目的関数は、収集地点から中継基地までの輸送コスト、中継基地から最終処分場までの輸送コストと、中継基地の建設、運転・維持・管理費を含む。制約条件としては、収集廃棄物は全てこの施設に運ばれ、それぞれの施設には処理能力以上のものが搬入されてはならない。中間処理施設が無いということは、全量理立のようなケースで、不燃・不燃物の処理についてもこのケースが当てはまる。

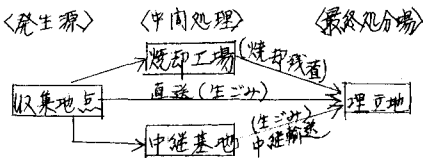


図1. 収集地点から最終処分場までの流れ

〔ケースⅡ〕 最終処分される前に、中間処理で減容化される場合。即ち、可燃物をも対象にした処理である。たとえば、焼却処理されれば、減容されて焼却残渣のみが輸送され、輸送コスト・埋立処分コストは、中間処理が無い場合に比べて低いはずである。ケースⅠと比べて異なるのは、焼却工場を中継基地と考えた場合、搬入される量とその施設から排出され輸送される量が異なることである。この目的関数には、収集以後の全ての輸送と中間処理、最終処分に要する費用が含まれている。

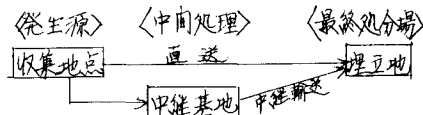


図2. 不燃・不燃物の輸送モデル

〔ケースⅢ〕 最も一般化した場合で、複数の収集地点（ $l$ ヶ所）から、複数の最終処分場（ $n$ ヶ所）までの間に、複数の中間処理施設（中継基地も含むもので、計 $m$ ヶ所）があり、しかも中間処理施設が複数直列に入りうる場合。収集地点から施設までの一次輸送については、今までのモデルと同じであるが、二次輸送以後は異なる。中間施設 $j$ から他の施設 $k$ に輸送される量を $x_{l+j,k}$ とすれば、二次輸送以後の輸送コストを含む目的関数は次の式で示される。

$$\text{Min } \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^{m+n} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{m+n} C_{l+j,k} x_{l+j,k} + \sum_{j=1}^{l+m} a_j y_j + \sum_{j=1}^{l+m} \sum_{k=1}^{m+n} b_{jk} x_{ij} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{Subj. to. } \sum_{j=1}^{m+n} x_{ij} = q_i \quad (i=1, 2, \dots, l) \quad \dots\dots (2) \quad \sum_{i=1}^{l+m} x_{ij} \leq M_j y_j \quad (j=1, 2, \dots, m+n) \quad \dots\dots (3)$$

$$d_j \sum_{i=1}^{l+m} x_{ij} = \sum_{k=1}^{m+n} x_{l+j,k} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots (4) \quad \text{もし } \sum_{i=1}^{l+m} x_{ij} > 0 \text{ ならば } y_j = 1, 0, \text{ ならば } y_j = 0 \quad (j=1, 2, \dots, m+n) \quad \dots\dots (5) \quad x_{ij} \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, l+m, j=1, 2, \dots, m+n) \quad (6)$$

ここで $x_{ij}$ : 収集地点 $i$ から、施設 $j$ への輸送量（ト/日）（ $i=1, 2, \dots, l+m, j=1, 2, \dots, m+n, j$ は1から $m$ までは中間処理、中継基地で、 $m+1$ から $m+n$ までは最終処分場を意味する。）

$C_{ij}$ : 地点 $i$ から、施設 $j$ へ都市廃棄物を輸送するのに要する輸送コスト原単位（円/トン）（ $i=1, 2, \dots, l, l+1, \dots, l+m, i=l+1$ 以後は中間処理施設を意味する。）

$a_j$ : 施設 $j$ に属する固定費用（処理対象によらない費用）

$b_{jk}$ :  $j$ 施設の、処理量による変動費用（円/トン）

$q_i$ : 収集区域 $i$ の廃棄物収集量（トン/日）

$M_j$ : 施設 $j$ の取り扱い能力（トン/日）  $\alpha_j$ : 中間施設 $j$ （ $j=1, 2, \dots, m$ ）の減容化率、すなわちその施設に搬入される廃棄物に対する排出輸送対象量

#### 4. おわりに

都市廃棄物の輸送システムの最適化ということと取り組んでみたが、輸送、

中間処理、最終処分がサブシステムがお互いに影響し合うため、この3つを含めたトータルコストを最少にするような最適処理システムの選択という課題を扱わずを得なくなった。この課題を解決するつに、問題を単純化した数値モデルをここに提示した。

〈参考文献〉 1. 田中勝; “都市廃棄物の中継輸送システムのための数値モデル” 第35回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅱ-407, 土木学会, 9月, 1980年。

表3 ケースⅢと他のケースとの関係

| ケースⅠ                                       | ケースⅡ                                     | 備考                       |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|
| $n=1$                                      | $n=1$                                    | 最終処分場は1ヶ所                |
| $\alpha_j=1.0$                             |                                          |                          |
| $k=1, 2, \dots, m$ に<br>ついては $x_{l+j,k}=0$ | $k=1, 2, \dots, m$ に<br>ついては $x_{l+j,k}$ | 中間処理施設から他の中間処理施設へは輸送されない |