

# 都市ごみ収集輸送計画のための ファジ線形計画モデル

小泉 明\*・戸塚昌久\*\*・稲員とよの\*\*\*・  
川口士郎\*\*\*\*

本論文では、都市ごみの収集輸送計画に用いるための多目的ファジ線形計画モデルを提案している。このモデルは、将来のごみ発生量の不確実性をファジネスとして考慮し、地域全体の経済性並びに安全性という相反する目的のもとで、ごみ発生量と同時にごみの輸送経路を決定するものである。そして、提案したモデルの感度分析並びにゲームスタディを行い、モデルの特性を明らかにするとともにその有効性を示した。

**Keywords** : fuzzy linear programming, uncertainty, multipurpose, municipal waste, collection and transportation planning

## 1. はじめに

清掃事業における都市ごみの収集輸送計画策定の手法として、線形計画法<sup>1)</sup> (Linear Programming) を用いた研究<sup>2)</sup>が提案されてきた。

しかしながら、都市ごみの収集輸送計画を策定する際に、前段階として必要不可欠なごみ量を予測することは、将来のごみの発生が不確実なものであるために、これを正確に予測することが極めて難しいものである。つまり、出力としてのごみの発生は、入力である社会・経済的要因や制御変数であるリサイクル率、さらに外乱としてのオイルショックといった要因で記述され、従来のトレンド式や回帰式による方法<sup>3)</sup>、および現在考えられる予測方法には限界があるものと思われる。また、実際の対象地域は一律ではないから、これらの方法では、対象とする地域の特性が十分に考慮されていないという問題もある。そこで、対象とする地域の特性を把握した上で予測を行うという研究<sup>4)</sup>がなされている。

一方、従来の収集輸送計画ではごみ発生量については推定されたごみ量の期待値を用いている。将来のごみ発生量の不確実性を考慮するためには、ごみ量の推定範囲(ごみ発生量の不確実性)の情報をもとに、地域特性も加味した上で計画目標値(目標年度におけるごみ発生量の計画値)を定める必要があると考える。この計画目標値を用いて収集輸送計画が策定されるわけであるが、清掃事業は各自治体の責務で行うものであるから各々で評価基準は異なり、この意味で特定の評価基準の単なる最適化だけでなく様々な評価基準に対応する必要がある<sup>5)</sup>。

収集輸送計画には、① 経済性の向上(収集輸送費の削減、人員の削減、時間の短縮等)、② 安全性の確保(美観の保持、公害防止、他の交通への影響の低減等)という相反する目的がある。つまり、一方の目的を追求すれば、他方の犠牲を強いることになるというものである。従来の研究では、大半が①の経済性の向上という目的を評価基準としているが、これだけを評価基準とするよりも、両方を評価基準とし同時に満足させる必要があると考えられる。

以上のことから、本論文ではごみ発生量の不確実性を含む場合の収集輸送問題に関して、ファジ線形計画法(Fuzzy Linear Programming; 以下、ファジ LP と略す)を適用し、ごみ発生量のあいまいさを考慮して、経済性の向上だけでなく安全性の確保をも満足するような収集輸送モデルを提案することとする。

## 2. モデルについて

地域のごみの発生は面的で不確実なものであるが、これを有限個の点より発生するモデルに代えることにより問題を扱いやすくなる。また、対象地域には複数のごみ処理施設が計画されていて、市町村等の行政区分により細分割されているとすれば、分割された区域の図心と処理施設を点(ノード)で表し、また隣接している区域と処理施設のノードを線(リンク)で結び、ネットワーク化することができる。なお、区域の図心は区域の中心あるいは人口集中地点とし、リンクはそれらを結ぶ主要幹線道路とする。

そして、問題は各区域から発生するごみ量の計画目標値を定め、これを複数の処理施設への位輸送するかを決定することとなる。

## 3. ファジネスの定量化

ファジ環境における意志決定は、1970年にR.E.

\* 正会員 工博 東京都立大学助教授 工学部土木工学科  
(〒192-03 八王子市南大沢1-1)

\*\* 正会員 工修 東京都立大学工学部土木工科大学院修士  
(現在 静岡県庁)

\*\*\* 正会員 東京都立大学助手 工学部土木工学科

\*\*\*\* 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科

Bellman と L. A. Zadeh が代替案の集合 X 上にファジィ目標とファジィ制約が与えられた際の検討を行ったのが最初である<sup>6)</sup>。

そして、1976 年に H. J. Zimmermann は線形計画問題にファジィ集合論の考えを導入した<sup>7)</sup>。すなわち、ファジィ目標とファジィ制約のある線形計画問題に対し、意志決定者が主観的に決定するメンバーシップ関数が線形の関数であると仮定して R. E. Bellman と L. A. Zadeh のファジィ環境における意志決定を採用すれば、通常の線形計画問題として解けることが示されている。

さらに、1978 年に H. J. Zimmermann はこの手法を多目的線形計画問題へと拡張した<sup>8)</sup>。

(1) ごみ発生量のファジィネス

将来のごみ量の推定範囲（ごみ発生量の不確実性）の情報をもとに計画目標値を定めるために、ごみ発生量を『推定量  $q_i$  は、最小限  $b_i$ 、最大限  $c_i$  であるが、できるだけ推定水準である  $t_i$  付近で決定したい。』という内容で推定を行うことにして、つぎの様なファジィ理論の線形メンバーシップ関数で表す。なお、ここで推定水準は、将来ごみ発生量の最も可能性の高い値であり、例えば統計的手法により求まる期待値などを意味している。

推定水準の下限側について

$$\lambda(q_i) = \begin{cases} 0 & (0 \leq q_i \leq b_i) \\ 1 - \frac{t_i - q_i}{t_i - b_i} & (b_i \leq q_i \leq t_i) \dots\dots\dots (1) \\ 1 & (t_i \leq q_i) \end{cases}$$

推定水準の上限側について

$$\lambda(q_i) = \begin{cases} 1 & (0 \leq q_i \leq t_i) \\ 1 - \frac{q_i - t_i}{c_i - t_i} & (t_i \leq q_i \leq c_i) \dots\dots\dots (2) \\ 0 & (c_i \leq q_i) \end{cases}$$

ここに、

$q_i$  : ノード  $i$  でのごみ発生量の推定量 [トン/日]

$t_i$  : 推定水準 [トン]

$b_i$  : 推定範囲の下限 [トン]

$c_i$  : 推定範囲の上限 [トン]

である。

上式で表されるメンバーシップ関数を図示すると図-1 のようになる。図-1 において、地域特性を考慮し、安全性を重視するのであれば推定水準を上限側  $t_i''$  に、逆に経済性を重視するのであれば推定水準を下限側  $t_i'$  に移動すればよい。

(2) 目的関数のファジィネス

収集輸送計画は費用の低減に代表される経済性の向上と、社会的な環境の改善に代表される安全性の確保という目的をもつものである。

前者は収集費用と輸送費用に大別されるが、収集費用

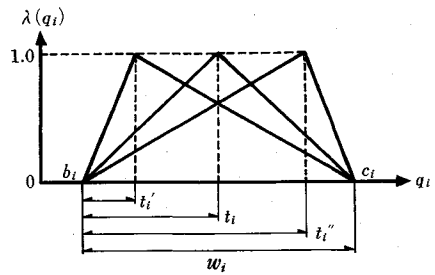


図-1 ごみ発生量のメンバーシップ関数

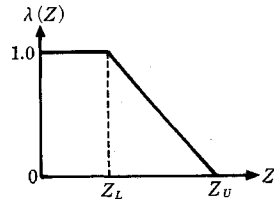


図-2 総輸送費のメンバーシップ関数

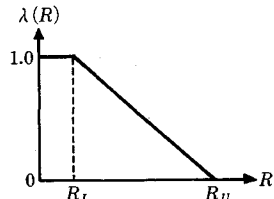


図-3 積み残しのリスクのメンバーシップ関数

に比べ輸送費用は区域による費用の差が大きいため、本モデルでは分割された区域から処理施設へと輸送するのに要する費用の総和、すなわち総輸送費に着目する。

一方、後者は質的な効果を数値化して算出することが難しいものであるため、ここでは量的な面を取り上げ、分割区域から将来ごみが積み残しとして最大限発生する量の総和を『積み残しのリスク』と定義し、これを用いることとする。

a) 経済性の要求

経済性の要求である総輸送費を『総輸送費  $Z$  は、だいたい  $Z_L$  以下にしたい。』という内容とし、許容できる幅 ( $Z_U - Z_L$ ) を設定して図-2 のメンバーシップ関数で表す。

$$\lambda(Z) = \begin{cases} 1 & (Z \leq Z_L) \\ 1 - \frac{Z - Z_L}{Z_U - Z_L} & (Z_L \leq Z \leq Z_U) \dots\dots\dots (3) \\ 0 & (Z_U \leq Z) \end{cases}$$

ここに、

$Z$  : 総輸送費 [円]

$Z_L$  : 総輸送費の下限 [円]

$Z_U$  : 総輸送費の上限 [円]

である。

b) 安全性の要求

また、安全性の要求である積み残しのリスクも同様に『積み残しのリスク  $R$  は、だいたい  $R_L$  以下にしたい。』という内容とし、許容できる幅 ( $R_U - R_L$ ) を設定して図-3のメンバーシップ関数で表す。

$$\lambda(R) = \begin{cases} 1 & (R \leq R_L) \\ 1 - \frac{R - R_L}{R_U - R_L} & (R_L \leq R \leq R_U) \dots\dots\dots (4) \\ 0 & (R_U \leq R) \end{cases}$$

ここに、

$R$ : 積み残しのリスク [トン]

$R_L$ : 積み残しのリスクの下限 [トン]

$R_U$ : 積み残しのリスクの上限 [トン]

である。

4. モデルの定式化

3. で示した考えのもとでファジィ LP を適用すれば、以下に示すように式 (5) の目的関数を式 (6) から式 (13) の制約式のもとで最大化することで、各区域のごみ量の計画目標値、対象地域全体の総輸送費、積み残しのリスクと輸送経路を決定する多目的線形計画問題として定式化できる。

つまり、各区域から処理施設への輸送量はごみ発生量に等しく、また各処理施設へ輸送されるごみ量は最大限の処理能力以下であるという通常の制約条件に、ごみ発生量、総輸送費、そして積み残しのリスクの要求のファジィネスを各々線形のメンバーシップ関数で表したファジィ制約条件を加える。これらのメンバーシップ関数は1から0の間の値をとり、その値が大きい程意志決定者の要求は満たされることになる。そこで、これらのメンバーシップ関数の最小値  $\lambda$  を、意志決定者の満足度を表わす指標として最大化することとすると、多目的ファジィ LP 問題は通常の LP 問題として表わされる。

Maximize  $\lambda$  ..... (5)

Subject to

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = q_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq p_j \quad (j=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (7)$$

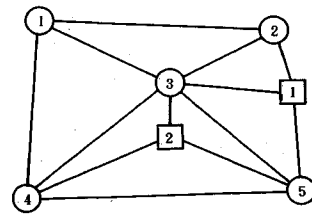
$$\lambda \leq 1 - \frac{t_i - q_i}{t_i - b_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (8)$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{q_i - t_i}{c_i - t_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (9)$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{Z - Z_L}{Z_U - Z_L} \dots\dots\dots (10)$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r \cdot d_{ij} \cdot x_{ij} \dots\dots\dots (11)$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{R - R_L}{R_U - R_L} \dots\dots\dots (12)$$



(凡例)  
○ : 各区域の圆心  
□ : ごみ処理施設

図-4 モデル地区のネットワーク

$$R = \sum_{i=1}^n (c_i - q_i) \dots\dots\dots (13)$$

ここに、

$\lambda$ : メンバーシップ関数値

ノード  $i$ : 区域, ノード  $j$ : ごみ処理施設

$n$ : 区域数,  $m$ : 処理施設数

$q_i$ : ノード  $i$  でのごみ発生量の推定量 [トン/日]

$p_j$ : ノード  $j$  の処理施設の最大限処理能力 [トン/日]

$t_i$ : 推定水準 [トン]

$b_i$ : 推定範囲の下限 [トン]

$c_i$ : 推定範囲の上限 [トン]

$x_{ij}$ : ノード  $i$  より  $j$  に輸送されるごみ量 [トン/日]

$d_{ij}$ : ノード  $i$  より  $j$  までの距離 [km]

$Z$ : 総輸送費 [円]

$Z_L$ : 総輸送費の下限 [円]

$Z_U$ : 総輸送費の上限 [円]

$R$ : 積み残しのリスク [トン]

$R_L$ : 積み残しのリスクの下限 [トン]

$R_U$ : 積み残しのリスクの上限 [トン]

$r$ : ごみ輸送単価 [円/トン・km]

である。

ここで提示したモデルの主な前提条件は、将来におけるごみ発生量の推定範囲、ごみ処理施設の最大限の処理能力、そして総輸送費並びに積み残しのリスクの許容範囲であり、その結果として各区域の計画ごみ発生量(計画目標値)、各処理施設の計画規模が決定され、同時にごみ輸送量 ( $x_{ij}$ ) 並びにその経路 ( $i \rightarrow j$ ) も決定される。

5. 感度分析

ここでは4. で提案したモデルを簡単なネットワークに適用して感度分析を行いモデルの特性を明らかにする。

(1) モデル地区

モデル地区は図-4に示すもので、5つの区域に細分割されていて、処理施設は2ヵ所に計画されている。この各区域から処理施設への距離並びに各区域から発生するごみ量の推定範囲を表-1に示す。なお、推定水準の

表一 区域別処理施設への距離並びにごみ量の推定範囲

項目	距離 (km)		推定範囲 (トン/日)		
	処理施設 1	処理施設 2	下限値	推定水準	上限値
N o. 1	8.0	5.0	30.0	35.0	40.0
N o. 2	2.0	3.0	35.0	37.5	40.0
N o. 3	3.0	2.0	40.0	50.0	60.0
N o. 4	10.0	5.0	25.0	27.5	30.0
N o. 5	6.0	5.0	20.0	30.0	40.0

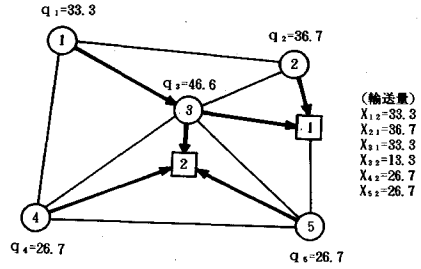


図-5 各区域の計画目標値と輸送経路

位置 ( $t_i/w_i$ ) は平均的な値である 0.5 とする。

ここで、輸送費について意志決定者があらかじめ予算の範囲をもっているならば、それに基づいて輸送費のメンバーシップ関数を設定すればよい。また、そうでないならば、簡易的な方法としては各区域のごみ発生量の推定範囲の下限と上限を各々確定値として、通常の LP により輸送費の最小値と最大値を求めたものを、下限、上限として設定することが考えられる。

$$\min Z = 540[r \text{円}] \rightarrow Z_L$$

$$\max Z = 820[r \text{円}] \rightarrow Z_U$$

以上のことをモデルに適用すれば、

Maximize  $\lambda$

Subject to

$$\lambda \leq 1 - \frac{35.0 - q_1}{35.0 - 30.0}, \quad \lambda \leq 1 - \frac{q_1 - 35.0}{40.0 - 35.0}$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{37.5 - q_2}{37.5 - 35.0}, \quad \lambda \leq 1 - \frac{q_2 - 37.5}{40.0 - 37.5}$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{50.0 - q_3}{50.0 - 40.0}, \quad \lambda \leq 1 - \frac{q_3 - 50.0}{60.0 - 50.0}$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{27.5 - q_4}{27.5 - 25.0}, \quad \lambda \leq 1 - \frac{q_4 - 27.5}{30.0 - 27.5}$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{30.0 - q_5}{30.0 - 20.0}, \quad \lambda \leq 1 - \frac{q_5 - 30.0}{40.0 - 30.0}$$

$$\dots\dots\dots(14)$$

$$x_{11} + x_{12} = q_1, \quad x_{21} + x_{22} = q_2$$

$$x_{31} + x_{32} = q_3, \quad x_{41} + x_{42} = q_4, \quad x_{51} + x_{52} = q_5$$

$$\dots\dots\dots(15)$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} \leq 150.0$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{52} \leq 100.0$$

$$\dots\dots\dots(16)$$

$$\lambda \leq 1 - \frac{Z - 540}{820 - 540} \dots\dots\dots(17)$$

$$Z = 8x_{11} + 5x_{12} + 2x_{21} + 3x_{22} + 3x_{31} + 2x_{32} + 10x_{41} + 5x_{42} + 6x_{51} + 5x_{52} \dots\dots\dots(18)$$

となる。

これを解けば、輸送費  $Z = 633$  [r円], メンバーシップ関数値  $\lambda = 0.67$  で、図-5の各区域の計画目標値と輸送経路が得られる。以下ではこれを標準ケースとして感度分析を行う。

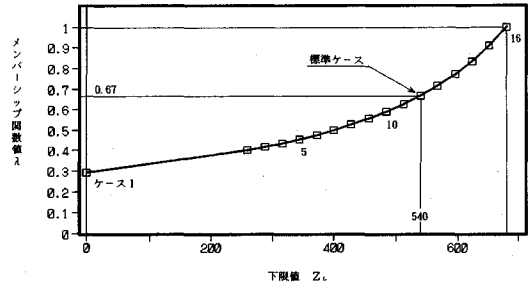


図-6 下限値とメンバーシップ関数値  $\lambda$  の関係

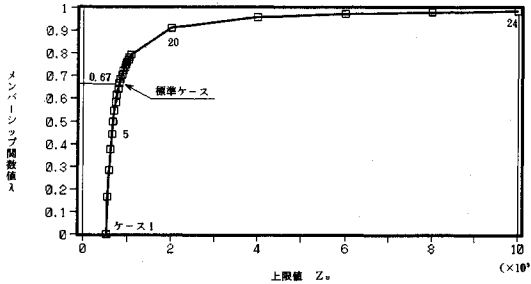


図-7 上限値とメンバーシップ関数値  $\lambda$  の関係

(2) 輸送費の感度分析

輸送費の感度分析として上限を固定して下限  $Z_L$  に対して 16 ケースの感度分析を行った結果、下限を標準ケースに対して大きくすれば総輸送費、計画目標値ともに増加し、反対に小さくすれば総輸送費、計画目標値ともに減少する。

一方、下限を固定して上限  $Z_U$  に対して 24 ケースの感度分析を行った結果、上限を標準ケースに対して大きくすれば総輸送費、計画目標値ともに増加し、反対に小さくすれば総輸送費、計画目標値ともに減少することが判明した。

このことから経済性の要求が変化して予算増額の場合には、輸送費のメンバーシップ関数の上限値あるいは下限値を大きくする 2つの方法が考えられ、同様に予算減額の場合には上限値あるいは下限値を小さくする 2つの方法が考えられる。

ここで、下限値と上限値について満足度を表すメンバーシップ関数値  $\lambda$  との関係を図-6と図-7に示す。

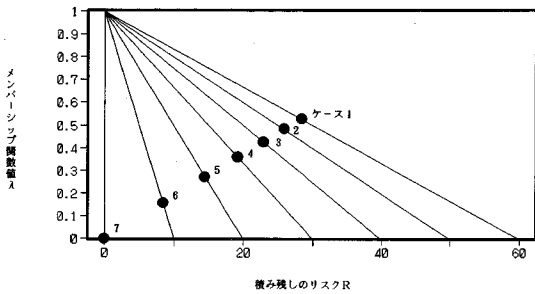


図-8 積み残しのリスクとλの関係 (下限値を固定)

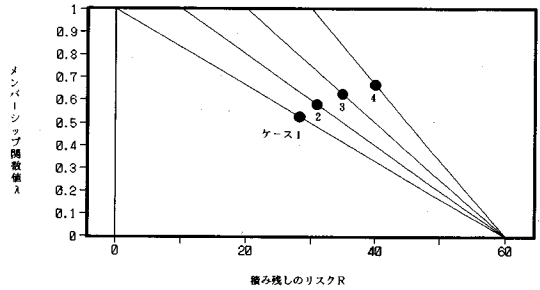


図-9 積み残しのリスクとλの関係 (上限値を固定)

下限値とλの関係については、下限値を大きくした時λの変化の割合が大きくなり、下限値を小さくした時はλの変化の割合が小さくなる。これに対し上限値とλの関係についてはλの変化の割合は全く逆の傾向を示している。したがって、予算増額の場合には下限を大きくし、逆に減額の場合には上限を小さくしてモデルを解けば経済性の要求の変化に対応することができる。

(3) 積み残しのリスクの感度分析

つぎに安全性の要求を加える。積み残しのリスクの設定はモデル地区の積み残しのリスクの最大値と最小値を参考にして下限、上限とする。

$$\max R = \sum_{i=1}^5 (c_i - b_i) = 60 \rightarrow R_L$$

$$\min R = \sum_{i=1}^5 (c_i - c_i) = 0 \rightarrow R_U$$

以上のことをモデルに適用すれば、

Maximize λ.

Subject to

式 (14)~(18) は同様

$$\lambda \leq 1 - \frac{R-0}{60-0} \dots \dots \dots (19)$$

$$R = (40 - q_1) + (40 - q_2) + (60 - q_3) + (30 - q_4) + (40 - q_5) \dots \dots \dots (20)$$

となる。

まず、積み残しのリスクの感度分析として下限を固定して上限  $R_U$  について7ケースの感度分析を行った結果、安全性の目標を加えることで標準ケースの40トンよりも積み残しのリスクを減少させることができている。そして上限値を小さく設定すれば積み残しのリスクはさらに減少する。けれども、総輸送費は増加し、満足度を示すλの値は小さくなってしまふ。これを、積み残しのリスクとメンバーシップ関数値λの関係で図-8に示す。

つぎに、上限を固定して下限  $R_L$  について4ケースの感度分析を行った結果、上限と同様に安全性の目標を加えることで標準ケースの40トンよりも積み残しのリスクを減少させることができている。そして、下限を大き

表-2 各施設の計画処理能力

施設	能力	処理能力 (トン/日)
処理施設 1		600トン/日 (300トン/日 × 2戸)
処理施設 2		1000トン/日 (500トン/日 × 2戸)
処理施設 3		900トン/日 (300トン/日 × 3戸)

く設定すれば積み残しのリスクは増加するけれども、総輸送費は減少して満足度を示すλの値は大きくなる。これを、積み残しのリスクとメンバーシップ関数値λの関係で図-9に示す。

以上のことから、安全性の目標を加えることで経済性だけを目標とするよりも安全な計画を策定することができる。また、図-8および図-9により、経済性と安全性のトレードオフを意志決定者の満足度を示すλの変化として捉えることができる。

6. ケーススタディー

ここでは、5. で示した感度分析の結果を踏まえて、4. で提案したモデルを実際の地域に適用し、その有効性を検討する。

(1) 対象地域

対象地域は、内陸部に位置し、28の区域(市町村および事業組合)により構成されている。総面積は6.4千km<sup>2</sup>であり、総人口は計画目標年度(西暦2005年)において約230万人と推計されている。そして処理施設は3ヵ所に表-2の規模で計画されているものとする。この対象地域をネットワーク化すると図-10となる。

また各区域から発生するゴミは、将来の発生量の不確実性を考慮するために推定範囲の情報として表-3に与えられている。ここでは、区域を3つに分類して、地域特性を考慮したゴミ発生量の設定を行う。すなわち、業務・商業地区のパターンAでは安全性、住宅地区のパターンBでは安全性と経済性、そして工業地区のパターンCでは経済性をそれぞれ重視して、パターンA, B, Cの推定水準の位置 ( $t_i/w_i$ ) を各々0.95, 0.5, 0.05に設定する。これらの設定は本来十分な調整のもとで行われるべきものであるが、本ケースでは極端な値を設定

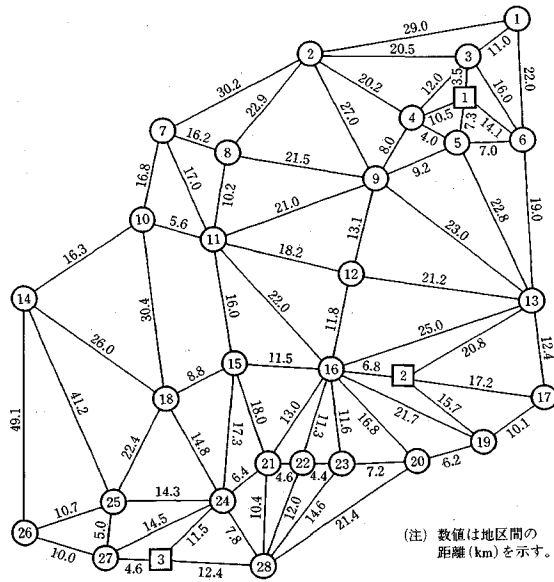


図-10 対象地域のネットワーク

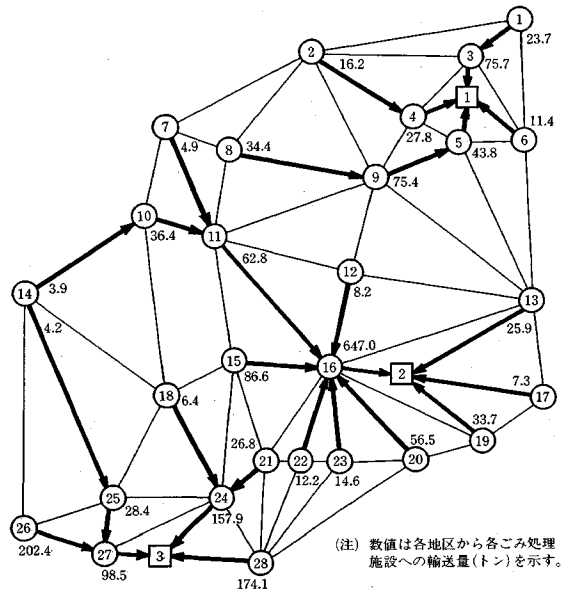


図-11 各区域の計画目標値と輸送経路

表-3 各区域のゴミ発生量の推定範囲

項目 区域	推定範囲 (t/日)		地域の パターン	項目 区域	推定範囲 (t/日)		地域の パターン
	下限値	上限値			下限値	上限値	
1	20.8	31.2	B	15	59.5	110.5	A
2	12.8	19.2	A	16	394.1	731.9	A
3	41.3	76.7	A	17	7.2	10.8	C
4	22.4	41.6	B	18	5.6	8.4	B
5	38.4	57.6	B	19	29.6	44.4	B
6	11.2	16.8	C	20	49.6	74.4	B
7	4.8	7.2	C	21	26.4	39.6	C
8	27.2	40.8	A	22	12.0	18.0	C
9	51.8	96.2	A	23	14.4	21.6	C
10	28.8	43.2	A	24	108.5	201.5	A
11	49.6	74.4	A	25	28.0	42.0	C
12	7.2	10.8	B	26	160.0	240.0	A
13	25.6	38.4	C	27	60.9	113.1	B
14	8.0	12.0	C	28	119.7	222.3	A
計				計	1425.4	2444.6	

表-4 総輸送費と積み残しリスク

項目	総輸送費 (r千円)	積み残しリスク (トン)
標準ケース	25097	527
リスクを設定	25485	438

$$\min R = \sum_{i=1}^{28} (c_i - c_i) = 0 \quad [\text{トン}]$$

そして、積み残しのリスクを設定しない場合が527トンであるから安全性を考慮して、もう少し減らすために『積み残しのリスクはだいたい300トンにしたい。』と考えて、志望水準を  $R_L=300$ 、許容値  $R_U=0.6 \times \max R$  として許容できる幅  $(0.6 \times \max R - 300)$  を考える。

そして、モデルを適用すれば総輸送費 25,485 [r円]、積み残しのリスク 438 [トン]、総発生ごみ量 2,007 [トン] となり、図-11 に示すような各区域の計画目標値と輸送経路が得られる。

図-11 の各区域の計画目標値はパターン A が推定範囲の上限側に近い値を取っており、パターン B、パターン C の順で次第に下限側を取るようになっていく。これはパターン A の安全性、パターン B の安全性と経済性、そしてパターン C の経済性が重視され、これらの地域特性が加味されていることが分る。

つぎに、安全性の要求である積み残しのリスクを設定しないケースと輸送の積み残しのリスクを設定したケースを比較した結果を表 4 に示す。両者を比較すれば輸送費は同程度で、積み残しのリスクは17%程減少している。このことから、得られた結果は単に経済性だけではなく安全性も考慮されたものだといえる。

してみた。

## (2) 計算結果

ここでは、輸送費のメンバーシップ関数の設定は、ゴミ量の推定範囲の下限と上限を確定値として通常の LP で求められる総輸送費の最小値と最大値を参考にする。

$$\min Z = 19,274[r円] \rightarrow Z_L$$

$$\max Z = 33,336[r円] \rightarrow Z_U$$

そして『総輸送費はだいたい  $\min Z$  にしたい。』という考えで、志望水準を  $Z_L = \min Z$ 、許容値  $Z_U = \max Z$  として許容できる幅  $(\max Z - \min Z)$  を考える。

また、積み残しのリスクのメンバーシップ関数の設定は最小値と最大値を参考にする。

$$\max R = \sum_{i=1}^{28} (c_i - b_i) = 1019.2 \quad [\text{トン}]$$

## 7. おわりに

本論文では、ゴミ発生量が不確実性を含む場合の収集・輸送問題に関して、ゴミ発生量のあいまいさのもとで、地域全体の経済性並びに安全性を考慮した収集・輸送計画のモデルを提案した。従来のLPモデル<sup>2)</sup>では将来のゴミ発生量を確定値として取り扱っていたのに対し、本モデルではこれを不確実なものとして考慮することができる。しかも、単一目的ではなく複数の目的を同時に評価できる点が特徴的である。ここで得られた研究成果は以下の通りである。

1) 都市ゴミの収集・輸送計画にファジィ線形計画法を適用し、将来のゴミ発生量のあいまいさのもとで、地域全体の経済性並びに安全性という2つの目的を考慮した上で、ゴミ発生量と同時にゴミの輸送経路を決定できるモデルを提案した。

2) 将来のゴミ発生量は各地域の特性を考慮できる様、メンバーシップ関数における推定水準の位置(図1の  $t_i/w_i$ )を設定する方法を採用した。

3) 提案したファジィ線形計画モデルは多目的な場合にも適用できるものである。ここでは、経済性を総輸送費とし、安全性を積み残しのリスクとして定量化し、これらの目的のもとで感度分析を行い、モデルの特性を明らかにした。

4) 経済性と安全性という相反する目的のもとで、提案したモデルによるケーススタディを行った結果、2つの目的をバランスよく満足するような解を得ることができ

き、モデルの有効性を確認することができた。

5) 提案したモデルは都市ゴミの収集・輸送計画のために開発したものであるが、今後、都市ゴミの処理・処分計画をはじめ、将来の発生量が不確実な物流を対象とした輸送計画に応用できるものと考えている。

## 参考文献

- 1) Dantzig, G.B. : Linear Programming and Extensions, Princeton Univ. Press, 1963.
- 2) 小泉明・堤暢彦・川口士郎 : 都市ゴミの収集・輸送計画に関する研究—ロケーション問題の解法—, 都市清掃, 第40巻, 第158号, pp. 250~257, 1987.
- 3) 狩野修 : わかり易いゴミ排出量の将来推計算出法, 都市と廃棄物, No. 2 & No. 8, 1978 & 1980.
- 4) 川口士郎・小泉明・上野武彦 : 都市ゴミ量予測のための要因関連分析, 都市と廃棄物, Vol. 13, No. 11, pp. 15~27, 1983.
- 5) Koizumi, A. & T. Inakazu : A Multipurpose Optimization Model for Area-wide Sewerage Systems, Environment and Planning A, Vol. 21, pp. 1015~1026, 1989.
- 6) Bellman, R.E. & L.A. Zadeh : Decision Making in a Fuzzy Environment, Management Science, 17, pp. 141~164, 1970.
- 7) Zimmermann, H.J. : Description and Optimization of Fuzzy Systems, Int. Journal of General Systems, 2, pp. 209~215, 1976.
- 8) Zimmermann, H.J. : Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets & Systems, 1, pp. 45~55, 1978.

(1991. 5. 30 受付)

## FUZZY LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR MUNICIPAL WASTE COLLECTION AND TRANSPORTATION PLANNING

Akira KOIZUMI, Masahisa TOTSUKA, Toyono INAKAZU and Shiro KAWAGUCHI

In this paper the fuzzy linear programming model considering multipurpose is proposed for the municipal waste collection and transportation planning. This model gives the transportation routes and also the design waste amount of each area, considering the conflicting purposes (economy and safety), and taking the uncertainty of future waste amount of each area into fuzziness. The economic efficiency is evaluated to minimize the total transportation cost, and the safety to minimize the total risk of remained waste amount of the whole area. The sensitive analysis and the case study show that this model can help to decide the transport system of municipal waste, giving results that are a good balance of the two purposes. Furthermore, this model is available for the regional waste treatment and disposal planning.