

II-482

段階的下水道施設投資計画のためのファジィDPモデルに関する一考察

東京都立大学工学部 正員 小泉 明

東京都立大学工学部 正員 稲員とよの

東京都立大学工学部 学生員 ○佐藤 則隆

1. はじめに

将来何回かに渡って行われる投資は各々独立でなく、ある時期の投資行為は次の投資に影響を及ぼすであろう。もし、差し迫った状況のみ勘案し投資を行っていくなれば、この現象を無視する事になる。よって、長期的な視野をもち、段階的投資計画を理論的に支えて置く必要がある。また、一つの最もらしい将来の状況に対してのみ計画を立案するのは、その状況の変化に対応することができなくなる。見えない将来の状況に幅を与えて置かなければならない。本研究では段階的投資計画を動的計画法(DP)によって構成し、将来の不確実な状況にあまいさを与え、そのファジィ環境の下、定性的な評価を理論的に行う。ここに、段階的下水道施設投資計画代替案作成のための「ファジィDPモデル」を提案する。

2. モデルの定式化

汚水処理施設は対象地域に対し面的に整備されていくが、下水道における投資は限られた予算を下水道施設に投下していかなければならず、長期に渡り段階的に行われる。この時、投下資本は貨幣で回収されず、ある効果をもって回収される。その効果は公共用水域へのBOD汚濁負荷の削減量で評価することができると考える。よって、本研究では「対象地域をその地域特性に応じていくつかの地域に区分し、各段階における予算制約の下、計画期間全体の累積流出汚濁負荷量を最小にするために、どの地区から整備していくか」というように原問題を構成する。これを定式化すると、(2)から(7)式のもと(1)式のように最小化する決定群 δd_{ni} ($n=1, 2, \dots, N$)を見つけ出す問題になる。さらに、(1)は(8)式のように変形できDPの適用が可能になる。(9)式が関数方程式でこの繰り返し計算により解が求まる。

$$\min \left[\sum_{n=1}^N E_n \right] \quad \text{----- (1)}$$

$$E_n = \sum_{i=1}^m [(\delta X_{ni} + \delta d_{ni}) \cdot \kappa \cdot \bar{q}_{ni} \cdot W_1 + \{1 - (\delta X_{ni} + \delta d_{ni})\} \cdot \kappa \cdot q_{ni} \cdot W_2] \quad \text{----- (2)}$$

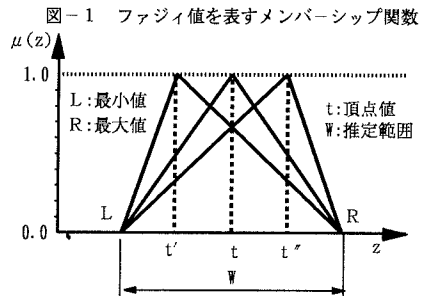
$$C_i \cdot \delta d_{ni} \leq B_n \quad \text{---- (3)} \quad \delta X_{(n+1)i} = \delta X_{ni} + \delta d_{ni} \quad \text{---- (4)} \quad \delta d_{ni} + \delta X_{ni} \leq 1 \quad \text{---- (5)}$$

$$\delta X_{ni} = \delta d_{ni} = \{0 \text{ or } 1\} \quad \text{----- (6)} \quad \bar{q}_{ni} = [q_i((n-1) \cdot P) + q_i(n \cdot P)] / 2 \quad \text{----- (7)}$$

$$\min \left[\sum_{n=1}^{n-1} E_n + T E_n(\delta X_n) \right] \quad \text{---- (8)} \quad T E_n(\delta X_n) = \min [E_n + T E_{n+1}(\delta X_{n+1})] \quad \text{---- (9)}$$

ここに、 i :分割地区($i=1, 2, \dots, m$)、 n :投資決定段階($n=1, 2, \dots, N$)、 p :一段階当りの年数、 E_n :段階 n の流出BOD汚濁負荷($\text{t}/\text{P年}$)、 δX_{ni} :段階 n の地区 i における整備状態(0:未整備, 1:整備済)、 δd_{ni} :段階 n の地区 i における整備決定(0:整備しない, 1:整備する)、 δX_n :段階 n の状態集合、 δd_n :段階 n の決定集合、 $\bar{q}_{ni}$:地区 i からの $n \cdot P$ 年目と $(n+1) \cdot P$ 年目の平均の一日発生汚水量($\text{m}^3/\text{日}$)、 $q_i(t)$: t 年目の地区 i からの発生汚水量($\text{m}^3/\text{日}$)、 W_1 :処理水BOD濃度(ppm)、 W_2 :未処理水BOD濃度(ppm)、 C_i :地区 i の整備費用(億円)、 B_n :段階 n の予算制約(億円)、 κ :換算係数($\text{日} \cdot \text{t}/\text{m}^3 \cdot \text{ppm} \cdot \text{P年}$)である。

又、開発行為等は過去の傾向で記述できない面がある。従って、本モデルでは意思決定者の開発等々の見込を勘案し、発生汚水量の予測に最小値系列と最大値系列を設定し幅を持たせ、頂点値の推定系列を決め、図-1に示すようなメンバーシップ関数を作成し、ファジィ値系列を設定する。すなわち、 $q_i(t)$ がファジィ値になり、その結果、(7)式、(2)式により評価値自体がファジィ値で表される。そして、ファジィ



ィ値とファジィ値を比較することにより最適解を求めるのである。又、目標年度における規模があいまいになるので整備費用 C_i も三角型のファジィ値で表わす。

3. モデルの比較検討

本モデルを図-2に示すように9つの地区に区分された対象地域に適用する。対象地域は近く宅地開発が行われる予定で、それに伴い下水道が整備される事になった。費用関数は周辺地域の実績値をもとに推定をした。表-1に各々の地区の発生汚水量のファジィ系列及び費用のファジィ値を示す。又、図-3に発生汚水量の頂点値における経年変化を示す。

図-2 対象地域

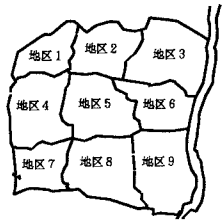


表1 発生汚水量と費用のファジィ値

地区	1	2	3	4	5	6	7	8	9
整備面積 (km ²)	0.8	1.2	2.6	1.5	1.4	1.3	1	2	1.95
整備費 (億円)	9.1	16.8	26.8	21.2	25.9	23.5	14.8	30.6	30.4
発生汚水量 (m ³ /日)									
0年後									
最小値	350	1050	2520	1400	2800	3430	1960	2975	3850
頂点値	13.2	23.2	31.6	28.5	32.3	29.4	19.4	37.2	35.8
最大値	18.1	28.0	40.4	33.2	37.1	34.7	26.3	41.9	40.2
5年後									
最小値	350	1050	2520	1400	2800	3430	1960	2975	3850
頂点値	490	1750	2520	1435	4235	3500	1960	3045	3990
最大値	560	2450	2625	1575	4480	3885	2100	3220	4375
10年後									
最小値	910	1925	2520	1750	4970	4445	2275	3290	4025
頂点値	980	2800	2765	2450	5600	5075	2450	3675	4410
最大値	1120	3010	3430	2660	6300	5530	3395	3885	4585
15年後									
最小値	1260	2450	2520	2730	5250	4725	2555	4025	4095
頂点値	1330	3325	2835	3850	6090	5425	2800	5075	4550
最大値	1540	3605	4480	4130	6580	5950	4025	5355	4725
20年後									
最小値	1330	2520	2520	2800	5285	4785	2695	4130	4305
頂点値	1400	3500	2870	4200	6300	5600	2975	5250	4900
最大値	1750	3850	4900	4480	6650	6160	4200	5530	5075

計画期間20年の5年ごと4段階決定問題としてDP及びファジィDP両モデルを適用する。DPモデルは発生汚水量の頂点値の推定系列(標準ケース)を用いて計算した。それらの結果を図-4、図-5のように、各々の地区を正方形でモデル化して示す。両モデルは地区1、8、9以外の全ての地区の投資段階が違ふ。この結果は、あいまい性を考慮したか否かをよく表わしている。例えば、地区7は潜在的な開発可能性が高く、それをファジィモデルで考慮した場合、投資段階が4段階目から3段階目に繰り上がる。両モデルの評価値はそれぞれ724トンと最低値639トン、頂点値737トン、最大値816トンという解になった。

本研究では、将来の不確実性を検討するために、発生汚水量の経年変化のシナリオを16個作成し、それを両モデルにより得られた二つの代替案に当て、評価値を比較してみた。換言すると、計画目標年度から見た16個の過去による検証を行なったのである。シナリオは、地区によって、見込以上、見込と同程度、見込以下の伸びを示すもの等を複合することにより設定した。その結果は、本モデルによる代替案の方が13個のシナリオに対して良好な評価値が得られ、標準ケースに近い3つのシナリオについては、逆の結果となった。これは、DPは一つの特定の状況に対して最適化されるが、ファジィDPは、特定の状況に対する最適性を多少減少させることにより、将来の計画に対応能力を持たせているのではないかと認識できる。

4. おわりに

本稿では、下水道施設投資計画のためのファジィDPモデルを提案するとともに、DPモデルとの比較について検討した結果、将来の不確実性を考慮した段階的投資計画が可能となった。なお、メンバーシップ関数は確率密度関数のように厳密な定義をしなくてよく、それゆえその厳密さの中で考慮されない不確実性を経験や勘により考慮することができると考える。

図-3 発生汚水量の経年変化(頂点値)

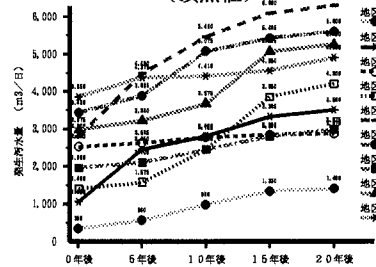
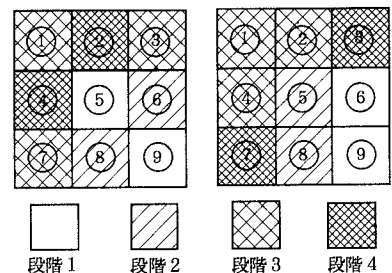


図-4 ファジィDP 図-5 DP



【参考文献】

- 1) 寺野寿朗・浅井喜代治・菅野道夫：ファジィシステム入門、P.167-P174、オーム社、1987
- 2) 小泉明・戸塚昌久・稲員とよの・川口士郎：都市ごみ輸送計画のためのファジィ線形計画法モデル、土木学会論文集、NO.443、II-18、PP.101-107、1992