

(Ⅶ-19) ファジィ LP による上下水道整備計画モデルの分析—発展途上国を対象にして—

東京都立大学大学院 学 生 員 齊 藤 裕 紀

東京都立大学大学院 フェロー 小 泉 明

東京都立大学大学院 榊 原 康 之

1. はじめに

現在、発展途上国といわれるアフリカの過半数、あるいはアジアおよびラテンアメリカの一部の国々では、女性や子供の手による、生活用水を得るための無償労働（水汲み労働という）が存在している。このため発展途上国には就学できない子供や、字の読めない女性が多数存在しているなど問題が山積みである。通常、上下水道整備を考える際には水系感染症の削減や河川水質の改善などの効果を考慮する¹⁾が、本稿では付け加えてこの水汲み労働を軽減することによって得られる効果も考慮する。水汲み労働を軽減することによって、女性の社会進出及び地位向上の基盤を作ることができ、あるいは将来の発展のために子供の学習機会を確保できると考えた。また、河川水質のような貨幣換算が困難な効果は、通常、費用便益分析では最適案を決定できないため、本稿では、多目的な問題を扱えるファジィ線形計画法^{2), 3)}と費用便益分析を併用したモデル（以下、ファジィ LP モデルと呼ぶ）を使用して、上述の 3 つの効果を同時に考慮した上下水道の最適な整備バランスを検討することを目的とする。

2. ファジィ LP モデルの定式化

このモデルでは、水系感染症医療費削減、河川水質改善、水汲み労働軽減の各効果に対して目標値を設定し、この各目標値に対する各目的の達成度を、重み付け和オペレータと名付けた目的関数に組み込むことで、各効果を考慮した最適な整備バランスを決定することができる。つまり水系感染症削減の目標重要度 α 、河川水質の目標重要度 β 、水汲み労働軽減の目標重要度 γ という値を用い、計画主体が各目標の値を参考に地域特性等を吟味して任意に設定できるため、考慮する 3 つの目的の重み付けを容易かつ明確に行うことができる。ただし、 α 、 β 、 γ という値の比は 3 つの目的の比になっている。ここで、削減水系感染症医療費目標達成度 λ (RW)、河川水質目標達成度 λ (TB)、軽減水汲み労働力目標達成度 λ (RL) を図 1 に示すメンバーシップ関数より求める。

（目的関数）($i = 1, 2, \dots, a$): $\alpha \times \lambda(RW) + \beta \times \lambda(TB_i) + \gamma \times \lambda(RL) \rightarrow \max$

（制約条件）($i = 1, 2, \dots, a$): ① $\lambda(RW) \leq RW / RW_{\max}$

② $\lambda(TB_i) \leq 1 - (TB_i - TB_{i \min}) / (TB_{i \max} - TB_{i \min})$ ③ $\lambda(RL) \leq RL / RL_{\max}$

④ $TC \leq C$ ⑤ $AY_i \geq Y$ ⑥ $0 \leq X_1, X_2, X_3, X_4 \leq 1, 0 \leq \lambda(RW), \lambda(TB_i), \lambda(RL) \leq 1$

ここで、RW: 総削減水系感染症医療費(通貨単位)、RWmax: 目標総削減水系感染症医療費(通貨単位)、TB_i: i 番対象地域における計画目標年度の平均 BOD 濃度(mg/L)、TB_{i min}: i 番対象地域における目標平均 BOD 濃度(mg/L)、TB_{i max}: i 番対象地域における計画初年度の平均

BOD 濃度(mg/L)、RL: 総軽減水汲み労働力(通貨単位)、RLmax: 目標総軽減水汲み労働力(通貨単位)、TC: 総事業費用(通貨単位)、AY_i: i 番対象地域における計画目標年度での最大水使用量(m³/日/人)、Y: 管渠内での汚物の流下に必要な 1 人 1 日最大水使用量(m³/日/人)、X₁: i 番対象地域における計画目標年度での下流側上水道普及率、X₂: i 番対象地域における計画目標年度での上流側上水道普及率、X₃: i 番対象地域における計画目標年度での下流側下水道普及率、X₄: i 番対象地域における計画目標年度での上流側下水道普及率、である。

上記のファジィ LP モデルにおける各種の制約条件については、①に削減水系感染症医療費のファジィ制約条件、②に河川水質のファジィ制約条件、③に軽減水汲み労働力のファジィ制約条件、④に予算の制約条件、⑤下水道（本稿では下水管渠内での汚物沈殿防止に必要な水量）の制約条件、⑥に各決定変数が取り得る範囲を示す制約条件を示した。

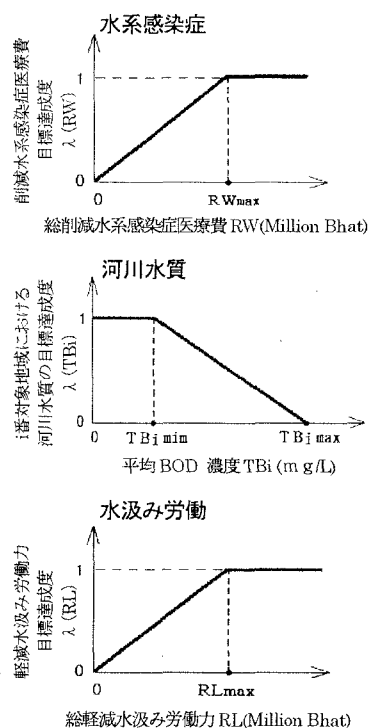


図 1 各メンバーシップ関数

【キーワード】 発展途上国 水汲み労働 ファジィ LP モデル 上下水道整備計画 多目的

【連絡先】〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院工学研究科 TEL.0426-77-2788 FAX.0426-77-2772

3. ケーススタディ

ここでは、図 2 に示すようなタイ国のモデル地域を対象としたケーススタディの計算について説明する。まず、削減水系感染症医療費の目標重要度 α 、下流側及び上流側対象地域における河川水質の目標重要度 β_1 、 β_2 、軽減水汲み労働力の目標重要度 γ を表 1 のように設定し、分析ケースを 1~6 に分類した。このように設定した分析ケースごとに、予算 C に応じた最適な各上下水道普及率の変化を計算し、比較することによって最適案の特徴について考察できるようにした。

次に、分析ケース 1 と 6 について計算した予算 C に応じた最適案を図 3 に示す。水系感染症の削減と河川水質の改善を重要視する場合（ケース 1）は、河川全体に対する水質改善効果が高い上流側下水道普及率▲が、計画初年度での水系感染症発生数を低く設定した上流側下水道普及率△よりも低予算の段階で 100% になることが見てとれる。分析ケース 1 の結果から、下水道整備が先行するような計画となっているといえる。

また図に示すように、水汲み労働力の軽減を非常に重要視する場合（ケース 6）、単位普及率当りの水系感染症削減効果が高い各上水道普及率○、△の整備が各下水道普及率●、▲の整備より優先的に行われている。ただし、下流側下水道普及率○が上流側下水道普及率△より優先的に整備される計画となっている理由は、計画初年度における下流側対象地域の水系感染症発生数を上流側対象地域の水系感染症発生数の 3.0 倍に設定したためである。さらに、上流側下水道普及率▲が下流側下水道普及率●より優先的に整備される計画となっているのは、上流側下水道普及率▲の整備が河川の上流側と下流側の両方の水質を同時に改善する効果を持つためだと考えられる。

以上の結果は、現在、発展途上国において行われている我が国の下水道先行型の整備が水汲み労働の軽減化や水系感染症医療費の削減を重視した目標を有した上で進められていることが表現できたと考える。

4. おわりに

本稿で提案したファジィ LP モデルによって、従来の費用便益分析の限界を克服し、貨幣換算が困難な効果に対しても下水道及び下水道整備の最適な整備バランスを決定できることが示された。

今後は本稿で検討した以外の効果についても計算式を考案し、本稿で提案したファジィ LP モデルを活用することによって、下水道及び下水道整備の最適な整備バランスを決定すべきであると考えている。

【参考文献】

- 森正蔵・小泉明：発展途上国における上下水道施設投資計画のためのファジィ LP モデルに関する研究 第 28 回環境システム研究論文発表会講演集 pp.71-79 2000
- 小泉明・戸塚昌久・稲員とよの・川口士郎：都市ごみ収集輸送計画のためのファジィ線形計画モデル 土木学会論文集 No.443/II-18 pp.101-107 1992
- 小泉明・稲員とよの・榊原康之・川口士郎：ファジィ理論を用いた水運用計画モデルに関する研究 水道協会雑誌 Vol.63 No.712 pp.38-46 1994

表 1 分析ケースの分類

分析 ケース	各目標重要度			
	α	β		γ
		β_1	β_2	
1	1.0	0.5	0.5	0
2	2.0	0.5	0.5	0
3	0.5	0.5	0.5	0
4	1.0	0.5	0.5	0.5
5	1.0	0.5	0.5	1.0
6	1.0	0.5	0.5	2.0

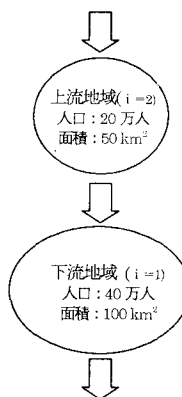


図 2 モデル地域

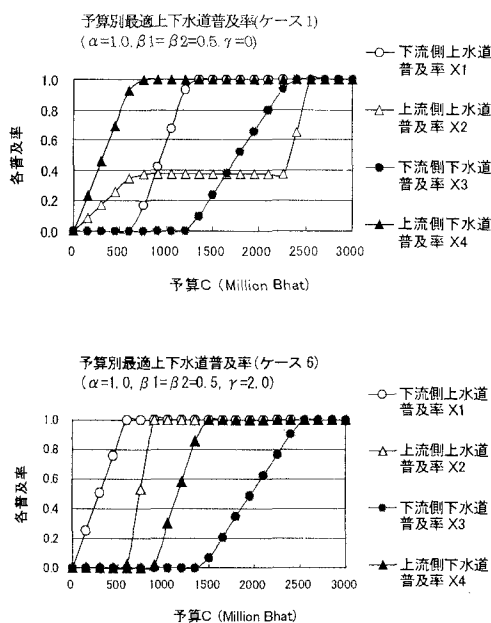


図 3 予算別最適上下水道普及率