

II-386 下水道の線整備シナリオ分析

エックス都市研究所 正員 佐野 弘幸
 滋賀県琵琶湖研究所 正員 中村 正久
 立命館大学理工学部 正員 山田 淳

1. 研究の背景、目的、およびその意義

わが国の下水道整備水準は、主要都市域では欧米なみになったといわれているが地方の中小都市や町村域では未だ極めて低い。こういった地域においても生活環境の改善と公共用水域の水質保全対策に対する要求が高まり、現在下水道整備が急がれている。しかし、整備対象区域が広大な流域下水道や大規模公共下水道の場合には建設期間が長期にわたるため、幹線上流域の整備進捗は、負荷の伸び、投資額、投資分配などの不確定要素に大きく左右されることになり、場合によっては計画途上で整備対象区域を見直したり、小規模暫定施策の建設計画を新たに織り込んだりする必要もでてくる。したがって、将来状況の変化を前もって想定し、上記二つの要求の満足度を科学的、客観的に評価できるシナリオ分析手法の開発が望まれる。

本研究の目的は、整備の効率性と地域間の公平性という二つの代表指標を導入し、様々な投資パターン下でのパレート最適(例えば効率性を犠牲にすることなく公平性を最大化すること)投資分配を求め、両者のトレードオフ関係に基づいて計画の評価ができるように開発したシナリオ分析手法を提示することである。下水道ネットワークの整備プロセスを考慮した研究には1)―3)などがあり、また複数の目的関数間のトレードオフを考慮したものには4)などがあるが、効率性と公平性のトレードオフをこのような形でパレート図上にしめたのは本研究が初めてである。

2. 分析手順の概要

分析手順の概要は以下の通りである。まず、下水道計画管渠ネットワーク(既存計画の場合は未完成部分、新規の場合は全ネットワーク)は、相応の年次投資により下流より順次建設され(線整備)、計画最終年次には全部完成する。建設完了部分が受け持つ地域(分区)では枝線建設が済んでいるところから(面整備)順次供用開始され、汚濁負荷は下端の施設に流送され処理される。しかし、同じ年次投資額でも幹線系統に分配する比率は様々に変えることができる。たとえば高負荷密度地域に接続する幹線に優先的に経年投資し、その地域から流出する負荷を早期に効率よく処理場へ取り込み、河川へ流出する負荷量を早期に削減することでもできるし、また逆に複数の幹線に平等に分配すれば、整備時期すなわち河川流出負荷の削減時期は遅れてもそれぞれが受け持つ地域から出る負荷の取り込みのタイミングは一致し、公平性を満足させることもできる。すなわち、同一の年次投資パターン下では線整備の効率性と公平性は幹線系統ごとの投資額の分配方法によって様々に変えることができ、4.に示す方法で特定の投資パターン下の負荷取り込み効率性と整備時期の公平性のパレート近似解集合を求めることができる。

3. 評価関数

① 線整備効率、E、は計画最終年次までに各分区から処理場に流送することができる負荷(面整備は既に完了しているとの過程のもとで理論上流送可能な負荷)の積分値をT、全計画区域で発生する負荷量の積分値をYとすれば、 $[T/Y]$ で表すことができる。② 線整備公平性、F、は以下のように決定する。まず、幹線ネットワークの最下流端(処理場)より各幹線系統終末端に至るまでの経路をそれぞれ単独に切り離したと想定する年次投資全額を継続的かつ集中的にその中の特定の経路に投入したと仮定したとき、その幹線が受け持つ各分区に到達する年次を理論最短完成年次とする。公平性、F、は実際のシナリオ分析計算(線整備効率、E、を最大とする計算)で求められた各分区の建設年次からその理論最短完成年次を差し引いた差、または遅刻年数、の偏差の大きさで代表する。

(式-1)

$$\begin{aligned} T_x &= A_x \cdot \int_{t'_x}^{\mu} dx(t) dt & T_x : x \text{ 分区の取り込み負荷量} \\ Y_x &= A_x \cdot \int_0^{\mu} dx(t) dt & Y_x : x \text{ 分区の発生負荷量} \\ T &= \sum_{i=1}^n T_i & u : \text{下水道整備完成予定年} \\ Y &= \sum_{i=1}^n Y_i & t'_x : x \text{ 分区の完成年次} \\ E &= T/Y & dx(t) : x \text{ 分区負荷密度} \\ & & A_x : x \text{ 分区の受持ち面積} \\ & & T : \text{取り込み総負荷量} \\ & & Y : \text{発生総負荷量} \end{aligned}$$

(式-2)

$$\begin{aligned} H &= \sum_{x=1}^n (t'_x - M_x) / n & M_x : x \text{ 分区の理論的最短完成年次} \\ F &= (n-1) / \sum_{x=1}^n |t'_x - M_x - H| & t'_x : x \text{ 分区の完成年次} \\ & & n : \text{計画地域の全分区数} \\ & & H : \text{平均遅刻年数} \end{aligned}$$

4. モデルの構造

堤ら（参考文献1）は、計画全期にわたる線整備の効率性を、幹線系列ごと、年次ごと取り込み負荷量の時間的割引値を用いて表現する方法を提示した。本研究では効率性〔式—1〕を近似的に最大とする解は、堤らという時間的割引率、 α 、を操作変数として図1のような繰り返し収束計算により求める。その解に対応する公平性値は〔式—2〕を用いて求める。効率性と公平性のパレート近似解集合は投資パターンと α を様々に変化させることによって求められる。

5. 事例

事例評価として人口9万2千人のA市の下水道計画（現在進行中）を取り上げ、計画全体と完成部分について分析をした。

分析によって得られた個々の計画の評価が投資パターン別に表示されている。計画全体の分析において（図1）、投資パターンの違いによる評価の傾向としては投資額が前期に集中しているほど効率性が高くなり、逆に後期に集中しているほど公平性が高くなる。各投資パターンでも指標間でトレードオフが示されており、全体としてパレート非劣位解集合を示している。完成部分の回顧的分析結果は図2に示すとおりである。完成部分の評価座標（×印）は実績投資によるパレート集合より左下に位置し、改善の余地があったと考察できるが、本分析では工場、事業所などの大規模排水源を考慮していないため相対的位置関係にずれが生じた可能性は高い。

6. 結論と今後の課題

効率性と公平性の代用指標を導入して計画評価の定量化を実現し、さらに代用指標相互のトレードオフを明確にしてパレート非劣位解集合を示した。今後、負荷密度予測の不確実性の考慮や公平性指標表現の改善など、モデルの充実を進めなければならない。また、小規模施設の導入など負荷削減代替方策との関連の検討も重要であるが、これは面整備シナリオ分析6）と連動させて考察する必要がある。

7. 参考文献

- 1) 堤、平野、中村、大門、下水道整備計画に関するシステム論的研究Ⅱ、特に線整備について、第9回衛生工学討論会、1972
- 2) 高田潔、下水道計画区域の策定方法に関するメッシュ法を用いた考察、東京大学工学部都市工学科卒業論文、1986.2
- 3) 塚原正二、下水道整備順位について、第23回下水道研究発表会講演集、1986.7
- 4) Makamura, M., and M. Riley, A Multiobjective Branch-and-bound Method for Planning Regional Wastewater and Residual Management Systems, Water Resources Research, 17, 5, 1349-1359, 1981.
- 5) 佐野弘幸、公共下水道整備計画における効率性と公平性のシナリオ分析、立命館大学理工学部土木工学科修士論文、1990.3
- 6) 黒田幸智、中村正久、山田淳、下水道の面整備シナリオ分析、本会報告、1990.9

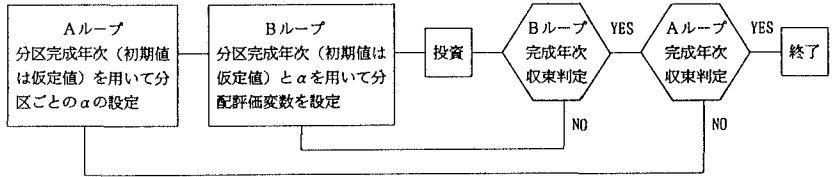


図1 収束計算フロー

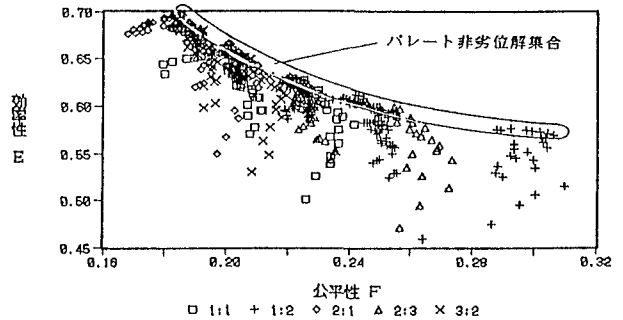


図2 計画全体の分析結果

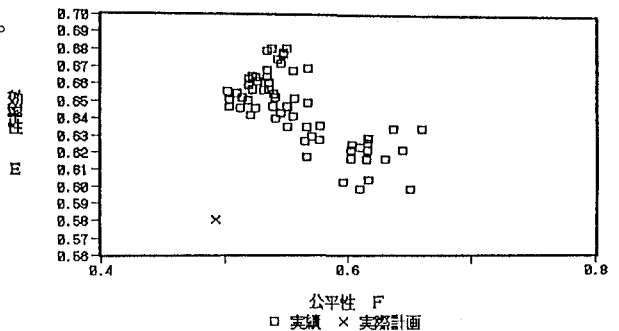


図3 完成部分の回顧的分析結果