

京都大学大学院 学芸員 八木陽一

京都大学工学部 正員 吉川和広

鳥取大学工学部 正員 岡田豊夫

1. はじめに

近年、日本の河川では、都市の人口増加・産業の集中に伴い、都市からの下水排水量が増加し、それに加えて各都市での下水道整備の遅延等から、河川水質の悪化が目立ってきている。上流側の都市においては、上流側の汚染をまともに受け、河川の環境保全上、深刻な問題が生じている。このような状況の中で、河川の水質を守るために、水系一貫した水利用システムを考へていく必要がある。たとえば淀川水系の河川においては、水系に関わる建設主体が複数にほり、しかも各々が独自の目標を掲げている。このため、これらの計画の間の整合性を保ちつつ、どのようにして水系全体としての目標つまり水質保全や水供給を行っていくかという問題を解決していく必要がある。

本研究においては、この問題に着目し、河川の水質保全をよりよく行おうという前提のもとに、複数の行政体を持つ目標の達成を調整していくためのモデルを提示するとともに、淀川水系を対象に具体的な分析を行う。

2. モデルの内容および前提

ここでは当該問題をモデル化する場合の主要な前提条件はつぎの内容について述べる。

①対象地域は1水系流域とするが、その流域面積があまりに大なるため複数の都市にまたがる地域を対象とする。

②各都市で発生する下水は直接放流されるが、また下水処理が施された後放流される。また、下水処理水はさらに三次処理されることも可能であると仮定する。

③各都市の最下流部（したがって隣接都市の最上流部との境界部）で水質規準が遵守されるものとする。

④国士レベルの行政体は、各都市での水利用システムの決定の際に充足すべき条件を提示する。調整の基準としては、各都市から排出される汚濁負荷量

が基準以下に収まることを要件とする。しるから各都市では国士レベルから与えられる条件を遵守することが要求される。

⑤各都市での選定問題において明示的に取り上げる目標は、関連施設建設費の最小化とする。

⑥各都市で発生する需要はすべて河川水であり、河川水もとし、これにより、上水・工業用水道施設に関する費用は定数と仮定するため、建設費の中からは含まない。

3. モデルの定式化

[1] 都市レベルの問題

まず都市 i ($i=1, 2, \dots, N$) において、目標である関連施設費用 E_i の最小化の定式化を行う。

$$E_i = C^1(W_T^i) + C^2(W_0^i) \rightarrow \min \quad (4)$$

W_T^i : 下水処理量 (変数)。

W_0^i : 三次処理量 (変数)。

$C^1(W_T^i)$: 下水処理施設の建設費用関数。

$C^2(W_0^i)$: 三次処理施設の建設費用関数。

次に各施設規模についての長期的制約条件を考える。

$$Q_T^i + A^i = Q_0^i + W_T^i + W_{E1}^i \quad (5)$$

$$Q_0^i + W_T^i = W_{E2}^i + W_0^i \quad (6)$$

Q_T^i : 従来から都市 i に発生する下水量。

A^i : 新規水需要量。

Q_0^i : 既存下水処理施設による処理量。

W_{E1}^i : 下水の河川放流量 (変数)。

W_{E2}^i : 下水処理水の河川放流量 (変数)。

さらに都市 i の排水汚濁負荷量の規制を行う。

$$b_{E1}^i W_{E1}^i + b_{E2}^i W_{E2}^i + b_0^i W_0^i \leq H^i \quad (7)$$

b_{E1}^i : 下水の水質 (BOD ppm)

b_{E2}^i : 下水処理水の水質 (BOD ppm)

b_0^i : 三次処理水の水質 (BOD ppm)

H^i : 国士レベルの行政体が設定する排水汚濁負荷量の上限値 (変数)。

[2] 国士レベルの問題

都市 i での水質 B^i の規制を行うと、

$$B_i = \frac{B^{i-1}(Q^{i-1} - \theta^i) + \theta^i}{Q^i} \leq B_i^0 \quad (5)$$

(B_i^0 は都市 i での水質基準値)

この制約のもとに目的関数を次のように設定する。

$$\sum_{i=1}^N \pi^i \theta^i \rightarrow \max \quad (6)$$

ここに π^i は都市 i レベルの問題で得られるミニマックス乗数であり、単位は [$\text{円/ppm} \cdot \text{m}^3$] とする。つまり、 π^i が持つ物理的の意味は、都市 i において、汚濁負荷量の総和に伴う都市内での建設費用の低減額を表わす。したがって、(6)式は、与えられた排水汚濁負荷量の制約のもとで、各都市の建設費の総和つまりは水系全体の建設費の最小化をはかっていることを意味している。

3. 調整過程の意味

ここでは本モデルに組み込まれた代替案選択の調整アルゴリズムについて述べる。

(1) 各都市において、排水汚濁負荷量の制限量 θ^i の初期値が設定される。

(2) これらの値をパラメータとして、都市レベルで問題が解かれ、各都市での水利用方式が決定される。このとき、各都市での排水汚濁負荷量の制限総和に伴う経済効果の情報がミニマックス乗数 π^i に集約されて、国土レベルの問題に送られる。

(3) 国土レベルでは、これらの値をもとに問題が解かれ、ここで改めて、各都市での排水汚濁負荷量の制限量 θ^i の値が決定され、都市レベルの問題にフィード・バックされる。

(4) 以下同様にして (2), (3) のステップが繰り返され、国土レベルの問題の目的関数の値が非負 (都市レベルの問題のミニマックス基準が非負) であることが確認されたならば、そのステップにおいて提示された代替案を統合することにより、全体の利用システムがまとめられる。

4. 計算結果

ここでは、図に示されている結果について分析を行おうとし、詳細は内容については講演時に述べる。

まず河川の各地点での水質基準値を知るために必要は各都市での下水処理率を調べると、都市 1 においては、全下水量の 95% を下水処理する

必要がある。これに対し、都市 2, 3, 4, 5 においては、それぞれ 29%, 30%, 35%, 40% とはり、このことから都市 1 での処理率が格段に高いことが分かる。このことを別の角度から見ると、都市 1~5 での排水汚濁負荷量の制限値は 22.32, 22.54, 15.68, 24.01, 148.59 t/d とはり、さらに単位排水量当りで表わすならば、17.83, 57.55, 56.73, 54.11, 49.89 ppm とはり、都市 1 の排水は他の都市のほぼ 3 倍の良質のものが要求される。以上のような結果が得られた主な理由としては、都市 1 が比較的大きな水需要を持つことから、都市下水量も多く、しかも河川の上流に位置しているため、排水の BOD 濃度の下流域に与える影響は非常に大いなものと言える。したがって都市 1 の下水処理率を重点的に高めることが、水質保全の観点からは非常に効果的であると言える。したがって都市 1 の下水処理率が他の都市の 2~3 倍にも達したものと考えられる。

計算結果

