

京都大学工学部 正 員 吉川和広

京都大学工学部 正 員 岡田憲夫

京都大学工学部の学生員 文内忠臣

1. はじめに

最近の水不足問題に対処する1方法として、流域の水需要特性および水系の流況に着目するとともに1水系流域全体として望ましい水利用形態を把握する必要があると考えられる。本研究はこのように観点から1水系流域の水配分問題をとりあげ、数理計画モデルとして定式化するとともに、このモデルを兵庫県加古川水系に適用して実証的日分析を試みたものである。

2. モデル化における前提

本研究では次の2つの点に留意して水配分問題のモデル化を行なった。

①財政負担の軽減あるいは施設の大規模化による経済効率性などの面から考えて、市町村という行政区画を越えて水道事業の広域化が必要である。このほか行政区画と無関係に発達した都市化に対処するためにも、また共同して大規模水源を開発するためにも広域水道方式の導入が有効であるといえる。

②公共水域の水質保全および水の高利用(使用水の再利用)の目的から3次処理の導入を図る必要があると考えられる。

以上のような視点からモデル化を行なったが、その際設定した主な前提条件を列挙する。

①対象地域の1水系流域とその水系の本川に沿って直列に n 個のゾーンに分割するとともに、これらを上流から順に1, 2, ..., n の番号で表わす。

②各ゾーンにおいては、原則としてそのゾーンを対象とした取水施設、浄水場、下水処理場および3次処理場を1か所に集中的に建設し、さらにゾーン内の分水を行なう送水管網を布設する。また必要であればゾーン間の送水を行なう送水管網も建設する。

③各施設の建設は新規需要のみを充足するために行われる。

④モデルにおいては上水道と工業用水道のみをとりあげる。なお使用水の再利用については実現可能性の点から工業用水道についてのみ考える。

⑤取水はすべて河川表流水のみを水源として行ない、また各

ゾーンでの取水、排水はすべて本川を対象として行なう。

⑥評価関数としては計画目標年度において必要となる建設費

の償還額と維持管理費の総和を考え、これを最小とする

方法を採用する。

3. モデルの定式化

①変数、定数の定義 ($i, j = 1, 2, \dots, n$)

(n ゾーンについて)

X_{1i}, X_{1j} 浄水場の浄水量 X_{1i} 上水道, X_{1j} 工業用水道

X_{2i}, X_{2j} 他ゾーンへの送水量 X_{2i} 上水, X_{2j} 工業用水

X_{3i}, X_{3j} 他ゾーンからの送水量 X_{3i} 上水, X_{3j} 工業用水

X_{4i}, X_{4j} 3次処理量 X_{4i} 3次処理水の再利用量

D_i, d_i 新規需要量 D_i 上水, d_i 工業用水

Q_i, q_i 取水地点における河川流量 B_i, Q_i のBOD値

A_i, Q_i のうち取水できない流量 T_i 下水処理量

B_i 取水地点での水質基準値

(その他)

Y_{ij}, y_{ij} ゾーン間の送水量 Y_{ij} 上水, y_{ij} 工業用水

Q_{i+1}, Q_{i+1} のBOD値 b_2 下水処理水のBOD値

b_3 3次処理水のBOD値

⑦費用関数、各施設の建設費の償還額と維持管理費の和

(n ゾーンについて) S_i 取水施設 C_{1i} 上水道浄水場

C_{2i} 工業用水道浄水場 C_{3i} 3次処理場

I_{1i}, I_{1j} ゾーン間送水管網 I_{1i} 上水道, I_{1j} 工業用水道

(n ゾーンより j ゾーンへの送水管) E_{1j} 上水道, E_{1j} 工業用水道

3) 制約条件の定式化 ($i, j = 1, 2, \dots, n$)

$Q_i - A_i \geq X_{1i} + X_{2i}$ (1) $-D_i \geq -X_{1i} + X_{2i} - X_{3i}$ (2)

$-d_i \geq -X_{2i} + X_{3i} - X_{4i} - X_{5i}$ (3) $T_i \geq X_{1i}$ (4)

$0 \geq -X_{1i} + X_{2i}$ (5) $B_{i+1} \geq B_i + 1$ (6)

$0 \geq X_{1i} - \sum_{j=1}^n Y_{ij}$ (7) $0 \geq -X_{2i} + \sum_{j=1}^n Y_{ij}$ (8)

$0 \geq X_{2i} - \sum_{j=1}^n Y_{ji}$ (9) $0 \geq -X_{3i} + \sum_{j=1}^n Y_{ji}$ (10)

ただし $Q_i = \sum_{j=1}^n Q_{i-1,j} + \sum_{j=1}^n T_{i-1,j} - \sum_{j=1}^n (X_{1i} + X_{2i} + X_{3i})$ (11)

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i1}Q_{i1} + b_{i2}(T_i - x_{i7}) + b_{i3}(x_{i7} - x_{i8}) \} \quad (12)$$

これらの制約条件のうち式(1)(2)(3)(4)(5)(7)(8)(9)(10)は線形式であり、式(6)のみが非線形式となっている。(このモデルを Model B とする。)

もし、すべての制約条件式が線形であれば、この特性に着目して有効な解法が適用可能となるから、式(12)を次のようは線形式で近似する。

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i1}Q_{i1} + b_{i2}(T_i - x_{i7}) + b_{i3}(x_{i7} - x_{i8}) \} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} (B_{i+1} - B_i) \left(\frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i1}Q_{i1} + b_{i2}(T_i - x_{i7}) + b_{i3}(x_{i7} - x_{i8}) \} \right) \\ \geq (B_{i+1} - B_i) \left(\frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i1}Q_{i1} + b_{i2}(T_i - x_{i7}) + b_{i3}(x_{i7} - x_{i8}) \} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

このように変換した理由は、①この変形によって水質は安全側に計算されること。また②計算に要する時間および複雑さのかわり軽減されることなどによる。(このように非線形制約式を線形近似してすべての制約式が線形であるように定式化したモデルを Model A とする。)

4) 評価関数の定式化

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \{ S_i(x_{i1} + x_{i2}) + G_i(x_{i1}) + G_i(x_{i2}) + S_i(x_{i7}) + I_{i1} + I_{i2} \} + \sum_{j=1}^m \{ E_{ij}(y_{ij}) + E_{ij}(y_{ij}) \} \quad (13)$$

4 モデルの解法

本モデルは評価関数が非線形である非線形計画問題となっている。Model A では、制約条件がすべて線形であるという構造上の特性に着目して Zoutendijk の実行可能方向法を用いることとする。また Model B では非線形制約条件をペナルティ関数として評価関数の中に導入し、制約条件がすべて線形である問題に変形した後(1)から(7)制約条件が線形で評価関数が非線形の問題に帰着される)、Model A と同様の実行可能方向法を用いてモデルの分析を行なう。

5 結果の考察

本研究では、このモデルを兵庫県加古川流域の6市6町の水質分問題に適用し分析を試みた。その結果の詳細については講義時に述べることにし、ここでは Model A と Model B による分析結果の1例について比較を行なうことにする(図-1 参照)。

この図をみてもわかるように、Model A, B の結果は総費用ではほとんど違わないが、水利用形態はかなり異なっている。すなわち Zone 3 においては工業用水はすべて3

次処理水を水源として供給されているように Model B では3次処理水の再利用を促進するような結果となっている。

このように総費用については Model A のように線形近似を行なっても十分の実用性があるが、水利用形態について考察する場合、Model A による分析を行なうには十分注意する必要があると考えられる。

6 今後の課題

本モデルにおいては、工業用水の要求水質は各業種を通じて同一であるという仮定のもとにモデル化を行なっているが、実際には業種によってその要求水質および排水の水質は異なる。そこで必要とする水質の違いに着目して各業種を2, 3のグループに分類するとともに、各グループごとに工業用水の利用の方法が異なるようなシステムを導入することが考えられる。

例えば具体的にいうと、最高級の水質を要求するグループは上水道より供給を受けるとし、比較的良好な水質を要求するグループは工業用水道から供給を受け、そこで使用済の水を簡単に処理した後良好な水質を必要としないグループに供給する方式が考えられる。また全体としては工業用水などの排水は3次処理されて再び工業用水道への給水源として再利用される方式を併用して用いることが考えられる。このような複雑な水利用システムを想定しても既述した本モデルを改善することにより分析が可能である。講義時にはこの点についてもあわせて報告することとする。

