

一水系流域における水配分問題に関するシステム分析

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 〇 学生員 大内忠臣

1. はじめに

本研究では、一水系流域の水配分問題をとりあげ、これを数値モデルとして定式化することにより加古川流域に適用して実証的な分析を試みる。

2. モデル化における前提

① 対象とする一水系流域を、その水系の本川に沿って n 個のゾーンに分割することにより、これらを上流から順に $1, \dots, n$ の番号で表わす。(図1参照)

② 各ゾーンにおいては、そのゾーンを対象とした取水施設、浄水場、下水処理場および三次処理場を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建設する。また必要であれば、ゾーン間の送水を行なう送水管網を建設する。

③ 各ゾーンにおいて本川に流入する流量およびその水質を考慮し、さらにゾーンの下流地点において本川の水質の規制を行なう。

④ 本モデルでは上水道と工業用水道のみをとりあげる。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 各施設の建設は新規需要のみを充足するために行なわれる。

⑥ 取水はすべて河川表流水のみを水源として行なわれるものとする。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。

⑦ 下水処理については、すべてのゾーンにおいてそのゾーン内で使用された廃水はすべて下水処理されるものとする。

⑧ 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モデル化する。

3. モデルの定式化

1) 変数、定数の定義(図2参照)

x_{1i} : i ゾーンでの上水道の浄水場の浄水量

x_{2i} : i ゾーンでの工業用水道の浄水場の浄水量

u_{1i} : i ゾーンから他ゾーンへ送水される上水の量

u_{2i} : i ゾーンから他ゾーンへ送水される工業用水の量

u_{3i} : i ゾーン外から送水されてきた上水の量

u_{4i} : i ゾーン外から送水されてきた工業用水の量

z_{1i} : i ゾーンでの三次処理場の処理量

z_{2i} : i ゾーンで再利用される三次処理水の量

y_{1ij} : i ゾーンより j ゾーンへの上水の送水量

y_{2ij} : i ゾーンより j ゾーンへの工業用水の送水量

Q_i : i ゾーンの取水地点における河川の流量

B_i : i ゾーンの取水地点における河川水の BOD 値

A_i : Q_i のうち取水できる流量

D_i : i ゾーンにおける上水の新規需要量

d_i : i ゾーンにおける工業用水の新規需要量

t_i : i ゾーンにおける下水処理量

Q_{i+1} : i ゾーンの取水地点から $(i+1)$ ゾーンの取水地点までの間に支川より本川へ流入する流量

b_{i+1} : Q_{i+1} の BOD 値 | $\bar{B}_i$: i ゾーンの取水地点の水質基準値

b_2 : 下水処理水の BOD 値

b_3 : 三次処理水の BOD 値

2) 各施設の建設費の償還額と維持管理費の和

S_i : i ゾーン の取水施設

C_{1i} : i ゾーンの上水道の浄水場

C_{2i} : i ゾーン の工業用水道の浄水場

C_{3i} : i ゾーン の三次処理場

E_{1j} : i ゾーン より j ゾーンへの上水管 (上水道)

E_{2j} : i ゾーン より j ゾーンへの上水管 (工業用水道)

I_{1i} : i ゾーン内の送水管網 (上水道)

I_{2i} : i ゾーン内の送水管網 (工業用水道)

3) 制約条件式の定式化 ($i, j = 1, \dots, n$)

$$Q_i - A_i \geq x_{i1} + x_{i2}$$

$$-D_i \geq -x_{i1} + x_{i3} - x_{i5}$$

$$-d_i \geq -x_{i2} + x_{i4} - x_{i6} - x_{i7}$$

$$T_i \geq x_{i7} \quad (4) \quad 0 \geq -x_{i7} + x_{i8}$$

$$B_{i+1} \geq B_{i+1} \quad (6) \quad 0 \geq -x_{i3} + \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

$$0 \geq x_{i5} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (7) \quad 0 \geq -x_{i4} + \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

$$0 \geq x_{i6} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (9) \quad 0 \geq -x_{i4} + \sum_{j=1}^n y_{ij}$$

$$\text{ただし } Q_i = \sum_{e=1}^E Q_{e,i} + \sum_{e=1}^E T_e - \sum_{e=1}^E (x_{e1} + x_{e2} + x_{e3}) \quad (11)$$

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i (Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i+1} Q_{i+1} + b_2 (T_i - x_{i7}) + b_3 (x_{i7} - x_{i8}) \} \quad (12)$$

である。しかしこの時式(6)のみが非線形となる

ため式(12)を次のような線形式でおきかえる。

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} \{ B_i (Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i+1} Q_{i+1} + b_2 (T_i - x_{i7}) + b_3 (x_{i7} - x_{i8}) \} \quad (12)$$

つまり式(1)、式(6)は次のようになる。

$$\sum_{e=1}^E Q_{e,i} + \sum_{e=1}^E T_e - A_i \geq \sum_{e=1}^E (x_{e1} + x_{e2} + x_{e3}) + x_{i1} + x_{i2} \quad (13)$$

$$(B_{i+1} - B_i) \sum_{e=1}^E Q_{e,i} + \sum_{e=1}^E T_e + (B_{i+1} - b_{i+1}) Q_{i+1} + (B_{i+1} - b_2) T_i$$

$$\geq (B_{i+1} - B_i) \{ \sum_{e=1}^E (x_{e1} + x_{e2} + x_{e3}) + x_{i1} + x_{i2} \} + (b_3 - b_2) x_{i7} + (B_{i+1} - b_3) x_{i8}$$

$$+ (b_3 - b_2) x_{i7} + (B_{i+1} - b_3) x_{i8} \quad (6')$$

4) 評価関数の定式化

$$Z = \sum_{i=1}^n \{ C_{i1} (x_{i1} + x_{i2}) + C_{i2} (x_{i1}) + C_{i3} (x_{i2}) + C_{i4} (x_{i7}) + C_{i5} (x_{i8}) \} + \sum_{j=1}^n \{ E_{1j} (y_{1j}) + E_{2j} (y_{2j}) \} \quad (14)$$

4. モデルの解法(実行可能方向法)

本モデルは評価関数が非線形で、制約条件がすべて線形である一種の非線形計画問題になっている。本研究ではモデルのこのような構造に着目して、G. Zoutendijk によって開発された実行可能方向法を用いることにする。この解法の手順はフローチャートに示すところである。(図3参照)

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町に適用し分析を試みた。その結果の詳細については講演時に述べることにし、ここではそれらをまとめた全般的な結論についてのみ言及する。

①加古川流域に限って言えば、将来経済性の点から、また水質規制の点からみても広域水道方式の実施とともに、何らかの形で三次処

理場の建設が必要となってくる。

②その場合に、水質規制をどのように定める

③か、流域をどれ位のゾーンに分割して、各ゾーン

④ごとの水利用形態を考えていくかによって、流域全

⑤体の水利用形態もかなり異なった様相になる。

⑥⑦流域全体の総費用だけを問題にする場合に

⑧も、いくつかの改善的な方式が考えられる。す

⑨なわち総費用があまり違わなくても、水利用

⑩の形態はかなり異っており、それぞれ的方式(モ

⑪デルでは1つの解)に対して、他の種々の条件

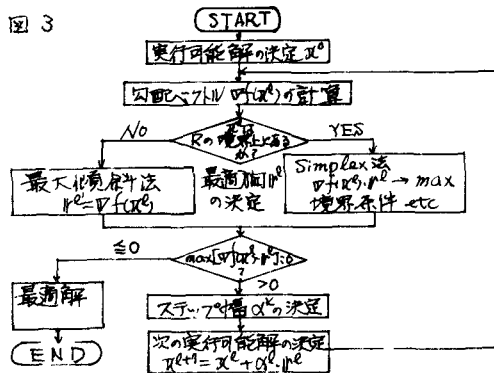
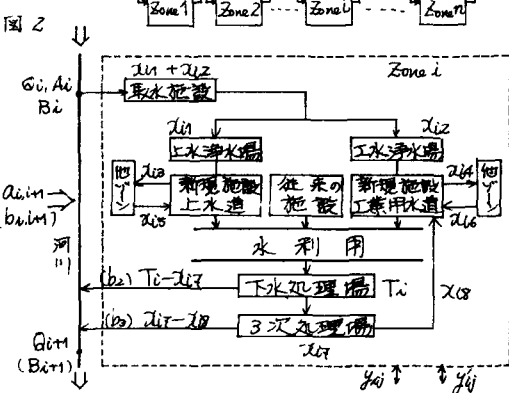
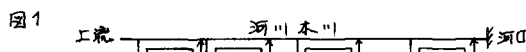
⑫を基盤としていく必要がある。

⑬⑭以上のような考察には本モデルはきわめて

⑮有効な情報を提供し得ると考えられる。また

⑯ここでも用いられた実行可能方向法も適切な解法

⑰のための手法とみる事ができる。



R: 実行可能領域