

## 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、これを数学モデルとして定式化する。これを利用して実証的分析を試みる。

## 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河内のゾーンに分割することとし、これらを上流から順に  $1, \dots, n$  の番号で表す。(図1参照)

②各ゾーンにおいては、そのゾーンを対象として取水施設、浄水場、下水処理場および三次処理場を1ヶ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) 記号、定義の定義(図2参照)

$x_{ij}$ : ルート  $i$  の上水道の浄水場の浄水量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  の工業用水道の浄水場の浄水量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  から他ゾーンへ送水される上水の量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  から他ゾーンへ送水される工業用水の量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  から送水されてきた工水の量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  から送水されてきた工業用水の量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  での三次処理場の処理量

$x_{iz}$ : ルート  $i$  で再利用される三次処理水の量

$y_{ij}$ : ルート  $i$  より  $j$  ゾーンへの工水の送水量

$y_{ij}$ : ルート  $i$  より  $j$  ゾーンへの工業用水の送水量

$Q_i$ : ルート  $i$  の取水地点における河川の流量

$B_i$ : ルート  $i$  の取水地点における河川水の BOD 値

$A_i$ :  $Q_i$  のうち取水できぬ川流量

$D_i$ : ルート  $i$  における上水の新規需要量

$d_i$ : ルート  $i$  における工業用水の新規需要量

$T_i$ : ルート  $i$  における下水処理量

$a_{i(i+1)}$ : ルート  $i$  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

$b_1$ : 下水処理水の BOD 値

$b_2$ : 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

$S_i$ : ルート  $i$  の取水施設

$C_{ii}$ : ルート  $i$  の上水道の浄水場

$C_{iz}$ : ルート  $i$  の工業用水道の浄水場

$G_{ii}$ : ルート  $i$  の三次処理場

$E_{ij}$ : ルート  $i$  より  $j$  ゾーンへの送水管(上水道)

$E_{iz}$ : ルート  $i$  より  $j$  ゾーンへの送水管(工業用水道)

$I_{il}$ : ルート  $i$  内の送水管網(上水道)

$I_{iz}$ : ルート  $i$  内の送水管網(工業用水道)

3) 制約条件式の定式化 ( $i, j = 1, \dots, n$ )

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

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

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

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

$$B_{i+1} \geq B_{i+1}$$

$$0 \geq x_{i5} - \sum_{j=1}^{i-1} y_{ij} \quad (7) \quad 0 \geq -x_{i3} + \sum_{j=1}^{i-1} y_{ij} \quad (8)$$

$$0 \geq x_{i6} - \sum_{j=1}^{i-1} y_{ij} \quad (9) \quad 0 \geq -x_{i4} + \sum_{j=1}^{i-1} y_{ij} \quad (10)$$

$$\forall i \in I \quad Q_i = \sum_{l=1}^3 A_{i,l} + \sum_{l=1}^3 T_l - \sum_{l=1}^3 (x_{il} + x_{el} + x_{ll}) \quad (11)$$

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} [B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i+1}A_{i+1} + b_2(T_i - x_{i3}) + b_3(x_{i7} - x_{i8})] \quad (12)$$

である。しかしこの時式(6)のみが非線形形となる。

$$B_{i+1} = \frac{1}{Q_{i+1}} [B_i(Q_i - x_{i1} - x_{i2}) + b_{i+1}A_{i+1} + b_2(T_i - x_{i3}) + b_3(x_{i7} - x_{i8})] \quad (12)$$

二つより式(1),式(6)は次のようになる。

$$\sum_{l=1}^3 A_{i-l} + \sum_{l=1}^3 T_l - A_i \geq \sum_{l=1}^3 (x_{il} + x_{el} + x_{ll}) + x_{i1} + x_{i2} \quad (13)$$

$$(B_{i+1} - B_i) \left( \sum_{l=1}^3 (x_{il} + x_{el} + x_{ll}) + x_{i1} + x_{i2} \right) \geq (B_{i+1} - b_{i+1}) A_{i+1} + (B_i + b_2) T_i \quad (14)$$

$$\geq (B_{i+1} - B_i) \left\{ \sum_{l=1}^3 (x_{il} + x_{el} + x_{ll}) + x_{i1} + x_{i2} \right\} + (b_3 - b_2) x_{i7} + (B_i - b_3) x_{i8} \quad (15)$$

#### 4) 評価関数の定式化

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ S_i(x_{i1} + x_{i2}) + G_i(x_{i3}) + C_{i1}(x_{i4}) + C_{i2}(x_{i5}) + C_{i3}(x_{i6}) + I_{i1} + I_{i2} + \sum_{j=1}^{i-1} (E_{ij}(y_{ij}) + E'_{ij}(y_{ij})) \right\} \quad (16)$$

#### 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になる構造に着目して、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いえば、将来経済性の点からも、下水水質規制の点からしても広域河道方式の実施とともに、何らかの形で三次処

(1) 工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決めるか、流域をどの様にゾーンに分割して、各ゾーンごとの水利用形態を考えていくかによって、流域全体の水利用形態もかなり異なる様相になる。

(3) ③流域全体の総費用だけを問題にする場合にも、いくつかの次善的な方式があらわれる。す

べての費用があまり違わなくとも、水利用の形態はかなり異っており、それぞれの方式(モデルでは1つの解)に対して、他の種々の条件を勘案していく必要がある。

(4) 以上のように考慮には本モデルはさわめて有効な情報と提供し得ると考えられる。また

ここで用いた実行可能方向法も適切な解法

のための手法とすることができる。

図1 工業 河川 木川 河口

図2 ↓

$x_{i1} + x_{i2}$  雨水施設

$x_{i1}$  上水道水場

$x_{i2}$  工水浄水場

$x_{i3}$  地下水

$x_{i4}$  新規施設

$x_{i5}$  上水道

$x_{i6}$  循環の施設

$x_{i7}$  新規施設

$x_{i8}$  工業用水道

$x_{i9}$  水利用

$x_{i10}$  下水処理場

$x_{i11}$  T.i

$x_{i12}$  J.i

$x_{i13}$  3次処理場

$x_{i14}$  J.i

$x_{i15}$  Q.i

$x_{i16}$  B.i

$x_{i17}$  A.i

$x_{i18}$  Bi

$x_{i19}$  R.i

$x_{i20}$  D.i

$x_{i21}$  d.i

$x_{i22}$  Ti

$x_{i23}$  T.i

$x_{i24}$  J.i

$x_{i25}$  J.i

$x_{i26}$  J.i

$x_{i27}$  J.i

$x_{i28}$  J.i

$x_{i29}$  J.i

$x_{i30}$  J.i

$x_{i31}$  J.i

$x_{i32}$  J.i

$x_{i33}$  J.i

$x_{i34}$  J.i

$x_{i35}$  J.i

$x_{i36}$  J.i

$x_{i37}$  J.i

$x_{i38}$  J.i

$x_{i39}$  J.i

$x_{i40}$  J.i

$x_{i41}$  J.i

$x_{i42}$  J.i

$x_{i43}$  J.i

$x_{i44}$  J.i

$x_{i45}$  J.i

$x_{i46}$  J.i

$x_{i47}$  J.i

$x_{i48}$  J.i

$x_{i49}$  J.i

$x_{i50}$  J.i

$x_{i51}$  J.i

$x_{i52}$  J.i

$x_{i53}$  J.i

$x_{i54}$  J.i

$x_{i55}$  J.i

$x_{i56}$  J.i

$x_{i57}$  J.i

$x_{i58}$  J.i

$x_{i59}$  J.i

$x_{i60}$  J.i

$x_{i61}$  J.i

$x_{i62}$  J.i

$x_{i63}$  J.i

$x_{i64}$  J.i

$x_{i65}$  J.i

$x_{i66}$  J.i

$x_{i67}$  J.i

$x_{i68}$  J.i

$x_{i69}$  J.i

$x_{i70}$  J.i

$x_{i71}$  J.i

$x_{i72}$  J.i

$x_{i73}$  J.i

$x_{i74}$  J.i

$x_{i75}$  J.i

$x_{i76}$  J.i

$x_{i77}$  J.i

$x_{i78}$  J.i

$x_{i79}$  J.i

$x_{i80}$  J.i

$x_{i81}$  J.i

$x_{i82}$  J.i

$x_{i83}$  J.i

$x_{i84}$  J.i

$x_{i85}$  J.i

$x_{i86}$  J.i

$x_{i87}$  J.i

$x_{i88}$  J.i

$x_{i89}$  J.i

$x_{i90}$  J.i

$x_{i91}$  J.i

$x_{i92}$  J.i

$x_{i93}$  J.i

$x_{i94}$  J.i

$x_{i95}$  J.i

$x_{i96}$  J.i

$x_{i97}$  J.i

$x_{i98}$  J.i

$x_{i99}$  J.i

$x_{i100}$  J.i

$x_{i101}$  J.i

$x_{i102}$  J.i

$x_{i103}$  J.i

$x_{i104}$  J.i

$x_{i105}$  J.i

$x_{i106}$  J.i

$x_{i107}$  J.i

$x_{i108}$  J.i

$x_{i109}$  J.i

$x_{i110}$  J.i

$x_{i111}$  J.i

$x_{i112}$  J.i

$x_{i113}$  J.i

$x_{i114}$  J.i

$x_{i115}$  J.i

$x_{i116}$  J.i

$x_{i117}$  J.i

$x_{i118}$  J.i

$x_{i119}$  J.i

$x_{i120}$  J.i

$x_{i121}$  J.i

$x_{i122}$  J.i

$x_{i123}$  J.i

$x_{i124}$  J.i

$x_{i125}$  J.i

$x_{i126}$  J.i

$x_{i127}$  J.i

$x_{i128}$  J.i

$x_{i129}$  J.i

$x_{i130}$  J.i

$x_{i131}$  J.i

$x_{i132}$  J.i

$x_{i133}$  J.i

$x_{i134}$  J.i

$x_{i135}$  J.i

$x_{i136}$  J.i

$x_{i137}$  J.i

$x_{i138}$  J.i

$x_{i139}$  J.i

$x_{i140}$  J.i

$x_{i141}$  J.i

$x_{i142}$  J.i

$x_{i143}$  J.i

$x_{i144}$  J.i

$x_{i145}$  J.i

$x_{i146}$  J.i

$x_{i147}$  J.i

$x_{i148}$  J.i

$x_{i149}$  J.i

$x_{i150}$  J.i

$x_{i151}$  J.i

$x_{i152}$  J.i

$x_{i153}$  J.i

$x_{i154}$  J.i

$x_{i155}$  J.i

$x_{i156}$  J.i

$x_{i157}$  J.i

$x_{i158}$  J.i

$x_{i159}$  J.i

$x_{i160}$  J.i

$x_{i161}$  J.i

$x_{i162}$  J.i

$x_{i163}$  J.i

$x_{i164}$  J.i

$x_{i165}$  J.i

$x_{i166}$  J.i

$x_{i167}$  J.i

$x_{i168}$  J.i

$x_{i169}$  J.i

$x_{i170}$  J.i

$x_{i171}$  J.i

$x_{i172}$  J.i

$x_{i173}$  J.i

$x_{i174}$  J.i

$x_{i175}$  J.i

$x_{i176}$  J.i

$x_{i177}$  J.i

$x_{i178}$  J.i

$x_{i179}$  J.i

$x_{i180}$  J.i

$x_{i181}$  J.i

$x_{i182}$  J.i

$x_{i183}$  J.i

$x_{i184}$  J.i

$x_{i185}$  J.i

$x_{i186}$  J.i

$x_{i187}$  J.i

$x_{i188}$  J.i

$x_{i189}$  J.i

$x_{i190}$  J.i

$x_{i191}$  J.i

$x_{i192}$  J.i

$x_{i193}$  J.i

$x_{i194}$  J.i

$x_{i195}$  J.i

$x_{i196}$  J.i

$x_{i197}$  J.i

$x_{i198}$  J.i

$x_{i199}$  J.i

$x_{i200}$  J.i

$x_{i201}$  J.i

$x_{i202}$  J.i

$x_{i203}$  J.i

$x_{i204}$  J.i

$x_{i205}$  J.i

$x_{i206}$  J.i

$x_{i207}$  J.i

$x_{i208}$  J.i