

IV-120 地域における水利用システムと関連施設計画に関するモデル分析

京都大学工学部 正 員 春名 友
京都大学工学部 正 員 岡田憲夫
京都大学大学院 学生員 ○ 望月常好

1. はじめに

近年、水需要の急激な増加にともなう、一部地域では深刻な水不足が予想されているが、これに対して国や都道府県を中心とした広域的な水計画を始めとして、種々のレベルの水資源計画が策定されつつある。本研究においてはこのような水資源計画の中から、市町村レベルでの水供給システムの計画の問題をとりあげ、地域の立場から見た水利用の形態についての数学モデルを作成し、実際例を通じてモデル分析を行なうことを試みたものである。

2. モデル化における前提

さて、この問題にアプローチする場合、①各市町村レベルでは水道水源の確保が物理的に困難なこと。②施設の建設費が膨大になるため、各市町村単独では財政負担が困難であること。③地域全体が協同して大規模な施設を建設すれば、財政負担の観点からみて実現可能性が高い。また、スケールメリットを考えれば、経済性の点からも合理的であること。④需要の増大がまわめて大まいため、将来の需要増に対処するためには、各市町村においても、あらかじめ大規模な施設拡張が必要であるが、これは反面、施設を遊ばせることになり、不合理であること。などの理由から各市町村の行政区域にとらわれない広域的な給配水計画を考える必要があるという前提を設定した。

一方、近年ますます深刻化している河川等の水質汚濁の問題に対処するためには、下水道・下水処理場の整備さらには三次処理による排水の処理ならびに処理水の再利用等の対策を並行して行なう、といくことが要求される。現時点においては、処理水の再利用による方法は他の方法に比してコスト高であるばかりでなく技術的にも未解決の問題が多いといえ、公共水域を保全するという目的のためには、是非とも下水道ならびに下水処理場の整備や三次処理などの対策を検討を加えておく必要があると考えられる。

以上のような事項を総合的に考慮することによって、本研究では、①新規開排水を対象とした広域水道方式と②下水の三次処理による循環使用と同時に考慮した水供給システムを設定し、数学モデルによる分析を試みることにした。その際、評価基準として全体の総費用を採用したが、この方法による三次処理の費用が割高となるために、これまでもうだけ抑制するような結果が導かれることが予想される。この問題の解決のための一つの方法については、結果の考察の際に言及するが、ここではこの点を改善するために、水質保全のための使用水に対する下水処理ならびに三次処理をも施すこととし、そのための費用も評価に組み入れることにした。

3. モデルの定式化

(仮定)

- ①対象地域は n 個のゾーンから成立しているものとし、各ゾーンにそれぞれ集中的に浄水場・下水処理場・三次処理場等を建設する。
- ②各ゾーンは、さらにいくつかの小ゾーンに分割される。小ゾーンにはその地区のための配水池が建設されるものとする。
- ③このモデルでは、上水道と工業用水道の両方をとりあげているが、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こととする。
- ④上水道と工業用水道の水源となる原水が各ゾーンの浄水場に送水されるまでの過程は、本モデルではあつか

われない。また、小ゾーン内の配水池から利用者までの末端給水もおわれないこととする。

⑤各ゾーン間には送水路を布設する。また、各ゾーン内において、浄水場・3次処理場と配水池の間に送水路を建設する。

⑥計画は新規需要分についておこなう。

⑦評価は、計画対象期間全体での諸施設の建設費、償還額と維持管理費の和で行なう。

⑧水質の指標には、BODだけを採用することとする。

⑨河川に沿って各下水処理放流点において、水質管理の面から別個に目標水質基準を設定し、その制約を満たすことを条件とする。

⑩下水処理場・3次処理場での処理前・処理後の水質はそれぞれ定数としてあたえることにする。

⑪河川水質の目標水質基準を満たすことにより生ずると考えられる水質の変化に対し、浄水場の浄水コストは変化する場合もあり得るが、ここでは定常的に変化しないとする。

⑫ここではマクロな立場から水質の問題をとりあがっているのが河川流量に関いては、ある一定の状態を想定することにした。このため、河川流量は一年を通じて一定値としてとりあがっている。

⑬BODの時間変化についても、上述と同様の理由により平均的な値を用いることとする。またBODは上流側A点から下流側B点までの間に外部から河川への流入がなければ変化しないものと仮定する。

(変数・関数の定義)

x_{i1} iゾーン内の上水の浄水場の浄水量

x_{i2} " の工業用水の浄水場の浄水量

x_{i3} " で浄水化した上水の放流点での浄水量

x_{i4} " で浄水化した工業用水の放流点での浄水量

x_{i5} " での3次処理場の処理量

x_{i6} iゾーン外の送水池から上水の量

x_{i7} " が送水池から工業用水の量

x_{i8} iゾーンでの下水処理場の処理量

x_{i9} " 3次処理場での処理量

D_i iゾーンの上水の需要量

d_i " での工業用水の需要量

B_i iゾーンの下水放流点でのBODの目標値

O_i iゾーンの下水放流点での計画対象期間中の下水処理量

$C_{i1}(x_{i1})$ 上水の浄水場の建設の償還額と維持費の計画期間中の総和

$C_{i3}(x_{i3})$ 3次処理場の " " " " " "

$R_{ij}(y_{ij})$ 上水のゾーンの " " " " " "

S_i iゾーンに対する原水の供給量

y_{ij} iゾーンからjゾーンへの上水の送水量

y_{ij} " 工業用水の送水量

b_1 下水処理をしない上水のBOD値

b_2 普通の下水処理が行われる上水のBOD値

b_3 3次処理が行われる上水のBOD値

$\bar{O}_i$ iゾーンの計画対象期間終了時における下水総量

$\bar{Q}_i$ iゾーンの下水放流点での処理水の放流点付近での河川に排水される量

$C_{i2}(x_{i2})$ 工業用水の浄水場の建設の償還額と維持費の計画期間中の総和

$C_{i4}(x_{i4})$ 下水処理場の " " " " " "

$\bar{R}_{ij}(\bar{y}_{ij})$ 工業用水のゾーンの " " " " " "

(制約条件の定式化)

$$x_{i1} + x_{i2} \leq S_i \quad \dots (1)$$

$$x_{i1} - x_{i3} + x_{i6} = D_i \quad \dots (2)$$

$$x_{i2} - x_{i4} + x_{i5} + x_{i7} = d_i \quad \dots (3)$$

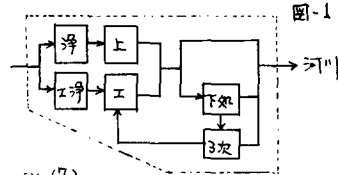
$$b_1 \sum_{j=1}^n (\bar{O}_j - O_j - x_{j5}) + b_2 \sum_{j=1}^n (x_{j8} - x_{j9} + O_j) + b_3 \sum_{j=1}^n (x_{j9} - x_{j5}) \leq B_i \quad \dots (7)$$

$$Q_i + \sum_{j=1}^n \bar{O}_j$$

$$O_i + x_{i8} \leq \bar{O}_i \quad \dots (4)$$

$$x_{i9} \leq x_{i8} \quad \dots (5)$$

$$x_{i8} \leq x_{i9} \quad \dots (6)$$



(目的関数の定式化)

$$Z = \sum_{i=1}^n \{ C_{i1}(x_{i1}) + C_{i2}(x_{i2}) + C_{i3}(x_{i3}) + C_{i4}(x_{i4}) \} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \{ R_{ij}(y_{ij}) + \bar{R}_{ij}(\bar{y}_{ij}) \} \quad \dots (12)$$

4. モデルの解法

本モデルは制約式が線形で評価関数が非線型(ただし上に凸)な非線形計画(NP)問題となっている。一般にNPの解法には、線形近似による方法、勾配法、場合によってはDPなども考えられるが、本研究では区分解法近似による方法を用いた。以下はこの解法の骨子を示す。

(1)各変数の定義域を適当に区分解し、それぞれ各区で費用関数を折線近似する。変数 x_i を区分解したときの各区の変数点を $x_i^j (j=1, \dots, r_i)$ と表示する。(図-2参照)

(ii)費用関数を直線で近似して得られるLPの解のように、

何らかの方法を用いて実行可能解を求める。

(iii)基底に入れる変数を決定する。ただし基底変数には、同じ変数 x_i を分割して定義した変数を含めないようにする。すなわち、基底変数の集合 $\{x_{ij}^0 | i=1, \dots, n, j=1, \dots, m\}$ において、 $i_p \neq i_q$ であるとする。

(iv)解を上昇させるために次に基底に入れるべき変数 x_{ij}^z として、次の④⑤の条件を満足する変数のうちで、④その変数の増加を検討する場合には負の絶対値が最大の、⑤減少を検討する場合には正の最大のシンプレックス基準をもつものを選ぶ。

条件④ $x_{ij}^0 = l_{ij}^0 \quad (j=1, \dots, z-1)$

条件⑤ $x_{ij}^0 = 0 \quad (j=z+1, \dots, y_{ij})$

(v)基底から出される変数 x_{ij}^0 を決定し、基底の変換を行なう。

(vi)④⑤の条件を満たす、基底に入っていないすべての変数 x_{ij}^z について、 $x_{ij}^z = 0$ のときは(シンプレックス基準) ≥ 0
 $x_{ij}^z = l_{ij}^z$ のときは(シンプレックス基準) ≤ 0

を満足するしき計算を終了する。

5. 結果の考察

ここは水利用システムの中で、水を利用した結果生じるすべての下水・処理の問題を含めずに、ただろ次処理による循環処理水の利用と新規利水の開発による需要の充足のみをとりあつかったモデルについて分析を行なった結果の一部について考察すれば次のようなことが言える。すなわち、計算結果をみると、ろ次処理の導入は必要最小限におさえられているが、これはろ次処理場の建設費・維持管理費が他の施設に比較してかなり高くついているという理由による。つぎに、広域水道方式の妥当な規模としては、全対象地域を占むほどにわたった場合が最も適当である。これは、2, 3の市町村が合併した程度の規模である。

なおこのモデルの適用においては、次のような事項が考えられる。すなわち供給システムのみでは、環境保全の目的のためにろ次処理を導入するという観点からみれば、きわめて消極的な結論しか得られない。したがって、この目的のためにこのモデルを適用することは、現在のところ妥当であるとは言えないであろう。これは、現時点においてろ次処理の費用が他の費用に比して割高になっており、これらの費用のみを考慮したモデルではろ次処理の導入は必要最小限となってしまう。しかし将来、技術革新で費用が低下した場合やろ次処理促進のための財政的補助や利用者負担というように、評価すべき費用の低減が考えられる。このような場合を想定し、費用などの程度変化したときにこの供給システムが有効になるかということについて、本モデルにパラメトリックプログラミングや感度分析を適用することにより情報を得ることは可能である。また、モデルの改善にあたっては、システムに何らかの形で環境を適合することに対する評価をとりいれることも考えられる。このような観点から、前にも述べたように、一つの改善の方法として、新規開発水を利用するにしても、環境基準を満足するための処理費用を評価することは意味があると考えられる。そこで、本研究では、第2段階として供給システムと処理システムを合わせたモデルについて分析を行なうことを試みた。現在本モデルを用いて計算が実施中であるので、これについての最終的な計算結果、ならびにその分析については講演時に述べることにする。

(註) 実際例として、兵庫県の加古川水系における、明石市、加古川市などをはじめとする7市5町について分析を行なっている。

