

地域における水供給システムに関するモデル分析について

京都大学工学部 正員 春名 攻
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、水需要の急激な増大にともない、深刻な水不足を解決するために広域的な利水計画を含めて、さまざまな水資源開発計画が策定されるようになってきている。一方この種の計画においては、従来はまず国レベルで水資源計画を決定し、これにもとづいて県や市町村がその地域内の給配水計画を決定することが多かったと考えられる。しかしこの方式では、国レベルから末端の市町村レベルにいたるまでの終始一貫した合理的な計画を行うことはできない。一方、河川等の水質保全の意味からも下水の高度処理が将来導入される可能性があり、それとともに水資源不足を解決するための水の再利用が進むと考えられる。このような観点から、市町村レベルでの給配水計画を国レベルにフィードバックさせるシステムをとりよように努めること、さらには下水の高度処理を含めた水利用の高度化という方策などをとり入れた水供給形態に関する総合的な検討を行うことが必要となることは明らかである。本研究では、このような合理的な水資源計画を策定する場合に不可欠と考えられる計画情報の一部を提供することを目的として、一つのモデル化を試みた。すなわち、①広域水道方式②下水の高度処理（3次処理）による水の再利用の両者をとり入れた市町村レベルでの給配水システムをモデル化するとともに、実際の場合に適用して分析を行った。

2. モデルの定式化

モデル化に際して用いた主な前提条件は以下のとおりである。

- 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・3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とをあげているが、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ものとする。
 - 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ない。又、小ゾーン内の配水池から利用者までの末端給水もあつかわないものとする。
 - ⑤各ゾーン間には送水路を布設する。又、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計画は新时期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の償還額と維持管理費の和で行なう。さて、以上の前提にもとづいて次のように定式化を行う。
- (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} " で浄水化された上水のうち他ゾーンへの送水量
 x_{i4} " で浄水化された工業用水のうち他ゾーンへの送水量
 x_{i5} " での3次処理場での処理量

x_{16} iゾーン外から送水されてきた上水の量

x_{17} " から送水されてきた工業用水の量

D_i iゾーンでの上水の需要量

d_i " での工業用水の需要量

B_i " に対する原水の供給量

b_i " 内での3次処理場の規模の上限値

y_{ij} iゾーンからjゾーンへの上水の送水量

$\bar{y}_{ij}$ " 工業用水の送水量

S_{i1} 上水の浄水場の建設費の償還額と維持費の計画期間中の総和

S_{i2} 工業用水の浄水場の建設費の償還額と維持費の計画期間中の総和

S_{i3} 3次処理場の建設費の償還額と維持費の計画期間中の総和

R_{ij} 上水の小間の送水施設の建設費の償還額と維持費の計画期間中の総和

$\bar{R}_{ij}$ 工業用水の小間の送水施設の建設費の償還額と維持費の計画期間中の総和

(制約条件の定式化) iゾーンにおいて

$$x_{11} + x_{12} \leq B_i$$

$$x_{15} \leq b_i$$

$$x_{11} - x_{13} + x_{16} = D_i$$

$$x_{12} - x_{14} + x_{15} + x_{17} = d_i$$

iゾーン, jゾーン間において

$$-\sum_{j=1}^n y_{ji} \leq -x_{16}$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \leq x_{13}$$

$$-\sum_{j=1}^n \bar{y}_{ji} \leq -x_{17}$$

$$\sum_{j=1}^n \bar{y}_{ij} \leq x_{14}$$

(評価関数の定式化)

$$Z = \sum_{i=1}^n (S_{i1} + S_{i2} + S_{i3}) + \sum_{i,j=1}^n (R_{ij} + \bar{R}_{ij})$$

3. 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形(ただし上に凸)な非線形問題となる。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、ではDPなどが考えられるが、本研究では線形近似の方法を活用して次のような解法を用いた。まず全体をLPで近似して最初の解を求める。次にこの解が、あらかじめ分割してある変数 x のどの区間に入るかを決定し、その区間だけでLPを作成して解く。(関数形は区間ごとに傾きの異なる直線から構成される折線となる、とい

る。)得られた解を向上させるように次のようなルールにより、2区間の変更を行ない、これを解が変化しなくなるまで行なう。

i) 解が区間の端の値をとるとで、それを共有する区間に変更する。

ii) i)以外の場合は区間を変更しない。

このルールを全変数に同時に適用する。このようにすれば合理的に解が求まることとなる。くわしい証明については講演時に説明する。

4 対象地域

以上のようなモデルを用いて、兵庫県の東播地域について実証的分析を行なった。本地域は、明石市・加古川市・高砂市・播磨町・稲美町・吉方町の臨海3市3町と、三木市・小野市・加西市・西脇市・滝野町・社町の内陸部4市2町から構成されており、加古川水系流域に広がる播州平野の東部に位置する地域である。今後、臨海部埋立地、中国縦貫道路周辺等を中心として種々の産業の導入がみ込まれており、それと同時に急激な工業用水等の需要の増大が予想されているが、これに対応して合理的な給水体系の方法について検討する必要がある。

5. 結果の考察

詳細は講演時に述べることにし、ここでは結果について一般的な考察を行なう。まず、3次処理の導入は必要最小限におさえられる。これは3次処理場の建設費・維持管理費が他施設の建設に比較してかなり高くつゝからである。広域水道方式の妥当な規模としては、全対象地域を5つほどにわけた場合が最も妥当である。これは、2, 3の市町村が合併した程度の規模である。なお、本モデルには種々の改善すべき点があることが示されており、これらの改善は今後の課題である。