

地域における水配分に関する二、三の分析について

京都大学工学部 正員 香名 政
京都大学工学部 正員 岡田 憲夫
京都大学大学院 学生員 〇吉永 一夫

1 はじめに 現在わが国の水道施設の拡張(変数)

方法としては、各水道事業体が年々増加する
水需要に対して場あたり主義で対応策を立て
ていく需要追 型の形態をとることが多い。
このことは、水道事業が市町村単位で行なわ
れていることに起因する。しかしこのような
方法では投資効率の点からみて非効率である
と考えられる。本研究では効率的な水道事業
方式の一つとして広域水道方式をとりあげる
とともに、長期的な見通しに立脚した段階的
施設拡張問題を数学モデルにより定式化しウ
-スタブによる分析を行なった。

2 モデルにおける仮定 広域水道方式にも
種々の方法が考えられるが本研究のモデル化
にあたって以下のような仮定を設けた。

①各期間において対象地域全体の全供給能力
は全需要を満たす。

②ある期間において供給能力に余裕のある都
市は不足をきたす都市に送水を行なう。

③送水のために必要な送水管は計画対象期間
の期首に全期間を通じて必要となる最大規模
のものを布設するものとする。

④各都市の需要量は計画の期首からの新増
分だけとする。

⑤対象都市全体で必要とされる取水量は、確
係されているものとする。

⑥本モデルの給水の対象としては、各都市の
配水池までとし、末端給水は考えない。

3 モデル化

k, l : 都市を表わすインデックス

L : 対象都市の数, i : 期間のインデックス

n : 計画対象期間の期数(期間は n 年で定
とし、計画対象期間は $n \times m$ で表わされる。)

x_i^k : 期間 i において都市 k で建設される浄水
場の拡張規模 ($x_i^k \geq 0$)

y_i^{kl} : 都市 k (供給能力に余裕のある都市) から都
市 l (供給能力に不足が生じている都市) への期間
 i における送水量 ($y_i^{kl} \geq 0$)

A_i : 期間 i において供給能力に余裕のある都市の
集合

$\bar{A}_i$: 期間 i において供給能力に不足がある都市の集
合

k_i : A_i の要素, l_i : $\bar{A}_i$ の要素

(関数)

$D_i^k = D^k(i)$, D_i^k : 都市 k , 期間 i までの需要量

$C_i^k = C(x_i^k)$, C_i^k : 都市 k , 期間 i の浄水場の建設費

$O_i^{kl} = O(w_i^{kl})$, O_i^{kl} : 都市 k , 期間 i の浄水場の
維持管理費

$\bar{O}_i^{kl} = \bar{O}(w_i^{kl})$, $\bar{O}_i^{kl}$: 都市 k , 期間 i の浄水場の
維持管理費

ここで $w_i^{kl} = \sum_{j=1}^i y_j^{kl} + D_i^k$ for $k_i \in A_i$

$w_i^{kl} = D_i^l - \sum_{j=1}^i y_j^{kl}$ for $l_i \in \bar{A}_i$

$K^{kl} = K(y^{kl})$, K^{kl} は都市 k, l 間の送水管の
建設費を表わし, k, l は送水量が期間を通じて
最大となるときの送水を行なう都市と受ける都
市を表わす。

$P_i^{kl} = P(y_i^{kl})$, P_i^{kl} : 都市 k, l 間の送水
網の維持管理費

(制約条件の定式化)

$\sum_{i=1}^n x_i^k - D_i^k \geq 0$ (供給能力に余裕のある条件)

$\sum_{i=1}^n x_i^k - D_i^k < 0$ (供給能力に不足のある条件)

$\sum_{i=1}^n x_i^k - \sum_{l_i \in \bar{A}_i} y_i^{kl} \geq D_i^k$ for $k_i \in A_i$ ($i=1, 2, \dots, n$)

$$\sum_{l \in A_i} x_i^l + \sum_{k \in B_i} y_i^{kl} \geq D_i^l \text{ for } l \in A_i (i=1,2,\dots,n)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{l \in A_i} x_i^l \geq \sum_{l=1}^L D_l^l \text{ (総供給量} \geq \text{総需要量)}$$

(評価関数の定式化)

費用の評価にあたって本モデルでは、以下の理由により維持管理費をも含めた定額償還法による計画対象期間全体の総償還額を用いた。
①水道事業体の施設拡張の資本は大部分が借入債であり借入債の償還が事業体の重要問題である。

②償還額による算定を行なうことにより施設の「あそび」に対する機会損失費用も算定でき合理的である。

③一般に公共事業体の償還法としては定額償還法が使用される。

定額償還法により建設費の償還額を以下に求める。このとき資本回収率として、式が与えられる。

$$g(r) = \frac{r(1+r)^m}{(1+r)^m - 1} \quad (m=30\text{年}, r: \text{借入債の利率})$$

したがって期間 i の期首に建設された浄水場の償還額は計画対象期間全体では以下のように表わされる。

$$S_i^l = (n-i+1) \cdot \tau_a C(a_i^l) \cdot g(r) \quad (i=1,2,\dots,n, l=1,2,\dots,L)$$

S_i^l : 都市 l 、期間 i に建設された浄水場の年間償還額のうち、 i から n までの総和

送水管の建設は計画の期首に行なわれるので償還額としては期間全体で

$$R^{kl} = n \tau_a g(r) \cdot k^{kl}$$

したがって評価すべき目的関数(総償還額)は以下のように定式化される。

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^L S_i^l + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L R^{kl} + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^L Q_i^l + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L P_k^l$$

したがって Z を最小とするような最適化を行なえばよい。

4 モデルの解法 定式化された問題は非線型であり、しかも非常に多くの制約条件や変数を

含んでいるので、M.PやL.Pの近似化による解法は適切ではない。そのため以前においては列挙法による解法を試みたが、拡張規模の増大、対象都市数、対象期間数の増加により解の精度も低下させても計算容量が膨大になり、実用的な解を得ることはできない。そこで今回はD.Pの原理を応用した解法を提案したが、ここではその方法を種々の場合に適用しその実用性と結果の一般的な考察を試みた。

5 結果の考察 本研究では、対象都市が2、対象期間数が3期の場合に加えて、対象都市数を3、対象期間数を5期として計算を行なった。その結果を一般的に述べると以下のようになる。

①浄水場の拡張にあたっては、各都市が独自に行なうよりは、これらの都市が共同して適当な規模の拡張を行なう方が、地域全体として望ましい。

②その際の適当な規模とは、各期間の地域全体での必要の新規増加分に見合う程度の規模であり、各期間を通じて「あそび」が生まれることがあつくはならない。したがって対象地域全体としてみるなら各期ごとに新規増加分に見合う程度の拡張を行なうのが望ましい。

③施設拡張を行なう都市は一つの都市に集中するのではなくて、地域全体として送水費用が小さくなるように分散しているのが望ましい。

5 あわりに このモデルによる分析を広域水道計画への有効な情報とするためには、さらにデータの検討とモデルの改善、モデル解法の改良を試みる必要がある。具体的計算結果と今後の改善点については紙面の都合上ここでは省略し、講演時に示すことにする。