

不確実性下における上下水道配分問題に関する一考察

— 数理計画モデルによるアプローチ —

鳥取大学工学部 正員 岡田 憲夫

日水コエ 正員 清水 丞

鳥取大学大学院 学員 O若林 善仁

1 はじめに 近年 我が国では人口の増加、産業の発展に伴い都市の水需要が急激に増加して来た。このため 各都市(需要地)では、近傍の水源開発を行なってきた。しかし、近傍の水源は開発しつくされ、また開発費用も開発可能量に比べて割り高になるという問題に直面して来た。そこで、水供給施設の大規模化、また広域化することにより、個別の都市では物理的、かつ経済的に困難な大規模水源の開発や水の多角的・有効的利用が可能になって来た。その結果、都市圏での水利用が大規模化、広域化することによって関連施設はパイプを有機的に結ぶにつれ、ますますネットワークシステムとしての性格と強めている。この際、規模拡張を行なうにしても、この程度の規模の施設をどこから作り始めていくかという段階的規模拡張問題が益々重要となる。とくるところが、このプロジェクトの大規模化に伴う建設開始から供用に至るまでの期間(リードタイム)が長大化して来た。これについて、プロジェクトの計画、建設、供用までの間に不確定な事態が発生する可能性が高くなり、そのような事態がいつ発生した場合に甚大な被害が生じうる懸念が高まって来た。岡田 清水¹⁾はスエーデンや我が国で現実化したこの種の問題を想定した上で、大規模プロジェクトの計画・供用・操業時における構造変化の発生を予め勘案してプロジェクトの採否と、そのタイミングを決定するための事前分析モデルを構築している。また、プロジェクトの建設中にそのリードタイムを活用して、その執行・縮小、あるいは中止を検討するための事前モデルを提案している。したがって、これらの研究では単一大規模施設を対象としており広域的規模拡張問題は明示的に取り上げられていない。そこで本研究では、広域ネットワークシステムの拡張・整備問題を取り上げるとともに、不確実性事象として「都市の水需要が時間とともに増加する状態からある時点で突然水需要の伸びが横ばい状態に移り変わる現象」(構造変化 図-1参照)の発生の可能性を組み入れた数理計画モデルの構築を試みる。さらに、本モデルを多角的に運用することにより、この種の規模拡張問題を検討していく上での基礎的な計画情報を提供する。

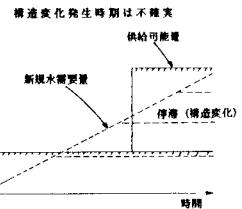


図-1 構造変化

2. モデルの定式化

① 対象とする需要地は大都市Aおよび小都市Bとする。前者の人口は約40万人程度、また後者は約10万人程度のものと設定する。

② 大都市Aでは水需要は急激に伸び続けているがある時点でその伸びが横ばい状態になる可能性を替えている。このため計画対象期間内の水供給施設整備方式のいかなるは投資資本の過大な増大に伴う損失が懸念される。一方、構造変化が計画対象期間内に起こらない可能性が大きいわけである。このまま需要の伸びが続けたにも関わらず水供給が十分にできない事態も起こりうる。

③ 大都市Aに比べて小都市Bの水需要の伸びが非常に小さい。この小都市Bでは計画対象期間内に構造変化の発生する可能性を考えなくてもよいものとする。また、小都市Bでは常時水需要を満足させるものとする。

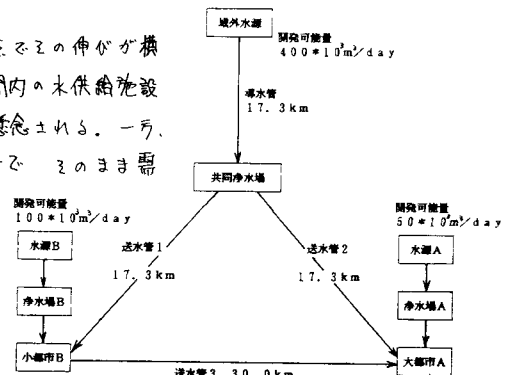


図-2 広域ネットワークシステム

④ 水供給施設系と広域ネットワークシステムの形態ルートを(図-2)に示すように設定する。大都市Aは、自水系内に存在している水源A、小都市Bからの送水ならびに域外水源からの水供給を受けられる。

⑤ 評価関数としては、建設費用、維持管理費用、施設の休止に対するペナルティ費用、水不足・水休止のペナルティ費用を取り上げる。(図-3参照)

建設費用	$(K-k+1) * V * C^k(q) * g(r)$
維持管理費用	$\frac{V}{2} * (O^k(s^k) + O^k(s^k))$
施設休止に対するペナルティ費用	$\frac{V}{2} * \{C^k(q) - C^k(s^k)\} * g(r)$
水不足に対するペナルティ費用	$\frac{V}{2} * (S^k A^k + S^k A^k) * P$
K	: 全ステージ数
V	: 単位検討期間
k	: kステージ
$C^k(q)$	: ステージk期末における規模qの建設費用
$O^k(s^k)$	: ステージk期末における処理量 s^k の維持管理費用
$g(r)$	: 資本回収係数
$S^k A^k$	: ステージkにおける大都市Aでの水不足量
P	: 1単位当りのペナルティ費用

図-3 名費用関数

i) 建設費用: 建設費用は、減価償却額として計上される計画対象期間中の全支払い金額を用いて表わす。

ii) 維持管理費用: 各施設の維持管理費用は、各ステージ中において連続的に変化する。ステージkの初期における各施設の維持管理費用はステージ(k-1)の期末における維持管理費用に等しいものとする。

iii) 施設休止に対するペナルティ費用: ここでは構造変化の発生に伴う投資資本の損失と施設休止のペナルティとする。ステージk期末における施設休止に対する年間総ペナルティ費用はこの施設の持っている価値とそのときの処理同一の規模で、たときの施設の価値との差額を減価償却したものとする。

iv) 水不足・水休止に対するペナルティ費用: 水供給不足となるときの需要サイドの損失と水不足のペナルティ費用とし、また過剰供給が行なわれたときの損失を水休止のペナルティ費用とする。

評価は計画対象期間内のみとし、これを分割した各ステージごとの評価項目の総和を全期間にわたって累計したものと取り上げる。ここでは、あわせて構造変化の発生と指教分布に従うと仮定して確率論的に考えているので評価関数は自らの総便益の期待値の最小化をとることになる。

3 結果の分析 モデルの分析に当り、これは(表-1)の名ケースを設定した。この際、パラメータ値を(表-2)のように定めた。ケース1では都市Aは域外水源から全面的に供給を受けており、このため施設の規模がきわめて大きくなっている。また地元水源である水源Aからの取水供給は皆無である。一方、都市Bは地元水源Bに余裕のある間は都市Aに供給を行なうが、余裕が無くなると、地元水源Bは全て自都市で受けるとともに、必要に応じて不足分は域外水源から供給を受けるとなる。また、域外水源から都市Bへ送水される水の一部は都市Bを経由して都市Aに供給されることになる。以上の結果から明らかかなように構造変化の発生があまり高くない場合には、規模の経済性の有効性が主要な決定因子となることが分る。(表-3参照)

4. まず、この他の詳細な分析については講演時にゆずる。

(参考文献) ① 岡田憲夫・清水忠、不確実性下における意思決定交換モデル—水資源開発計画を例として、オーストラリア計画学研究会発表論文集昭和58年1月

表-1 分析ケース

ケース1	すべての施設をステージ1期末で採用
ケース2	ケース1の域外水源施設の採用を1期遅らせる
ケース3	ケース1の水源B施設の採用を1期遅らせる
ケース4	ケース1での構造変化の発生確率を0.05から0.1にする

表-2 パラメータ値

計画対象期間		
計画対象期間	15年	
単位検討期間	5年	
ステージ数	3	

計画水量需要量 ($10^6 m^3/day$)		
ステージ	大都市A	小都市B
0	0	0
1	104.3	10.0
2	208.5	20.0
3	312.7	30.0

現存水供給可能量 ($10^6 m^3/day$)		
大都市A	30.0	
小都市B	20.0	

表-3 結果

ケース1	(総額 1056.7億円)		
	ステージ1	ステージ2	ステージ3
域外水源	56.5	178.6	273.8
送水管1	8.0	48.5	0.0
送水管2	48.5	130.1	273.8
水源A	0.1	0.1	0.1
水源B	10.1	0.1	9.9
送水管3	27.3	48.1	0.3
ケース2	1056.7億円		
	ステージ1	ステージ2	ステージ3
域外水源	0.0	142.8	243.5
送水管1	0.0	65.8	97.6
送水管2	0.0	77.0	145.9
水源A	19.9	20.0	19.7
水源B	49.9	19.7	29.9
送水管3	59.8	86.1	118.4
ケース3	1001.7億円		
	ステージ1	ステージ2	ステージ3
域外水源	66.2	178.4	272.8
送水管1	17.7	48.5	0.4
送水管2	48.5	129.8	272.4
水源A	0.1	0.2	0.1
水源B	0.0	0.3	10.3
送水管3	27.1	49.6	0.7
ケース4	1058.1億円		
	ステージ1	ステージ2	ステージ3
域外水源	41.5	174.3	235.2
送水管1	36.0	56.3	77.5
送水管2	5.5	118.0	157.7
水源A	9.8	9.8	9.6
水源B	29.3	9.5	50.3
送水管3	75.6	66.7	118.7
	1447.2億円		