

農水、工水の水利権転用を考慮した水道システムの再編成に関する一考察*

*A Study on Reformation of Water Supply System under Consideration with
Agricultural and Industrial Water Right Diversion**

小棚木修**・森正幸***・萩原良巳****・今田俊彦**

By Osamu ODANAGI**・Masayuki MORI***・Yoshimi HAGIHARA****・Toshihiko KONDA**

1. はじめに

近年における水道水源の水量、水質上の不安定性は、水道の安定供給を阻害する重要な問題となっている。水量面では、水利用の高度化に伴い渇水現象がより生起頻度を増し、水不足の危機感が高まっている。また、水源水質は湖沼等の富栄養化や河川水(表流水)の有機物量の増加により汚濁が進行し、この結果ろ過池の閉塞などの浄水機能障害を引き起こすほか、給水水質に異臭および不快な味を生じさせることもあり、浄水処理において何らかの対策が必要となった例も少なくない¹⁾。

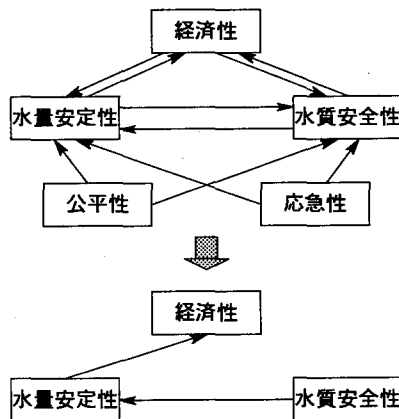
さらにこのような水源の水量、水質上の問題だけでなく、施設の老朽化ならびに浄水処理方式の旧式化による問題も生じてきている。例えば、ダムの堆砂や取水施設の目詰り等により機能が低下したり、塩素注入によるトリハロメタンの危険度が増大するなどがその一例であり、これらの問題は歴史の古い水道を中心に生じてきている。

以上のような問題に対し、個々には各施設の能力の増強、機能の改良などの対策も効果的ではあるが、複数の水源、施設系統からなる場合は水道全体を総合的にとらえ、全体的な視点からこれらの系統の再編成を検討することが必要となることも多い。

これらのことを踏まえて、本稿では水量、水質の問題を原因とした水源、浄水場系統の再編成に関する計画手法について考察する。その際、水道の新規水源の確保にはダム建設や農水・工水などの他水利の転用などの手段があるが、これらの手段は水道独自の事業として実施することが困難であり、共同事業として行われることが多い。このため、新規水源開発をこれらの事業を参加者とする協力ゲームとしてとらえ、共同事業における費用分担方法について考察することとする。

2. 水源、浄水場系統再編成案の評価要因

水源・浄水場系統の再編成案の作成に際しては、それを評価する指標が必要である。ここでは、評価指標としてまず図-1の上図のように考える。すなわち、水源としての「水量の安定性」、「水質の安全性」があり、これらの水源特性の維持および施設の建設や維持管理に要する費用が廉価であること、つまり「経済性」を評価指標と考える。そして、これらは同図に示すように互いに関連しており、ある要因を満たすために他の要因が満たされなくなるという状況にもなっている。これは、例えば安全な水を豊富に得るためには大規模な水源開発と高度な処理機能を有する施設の整備が必要であり、多くの費用を要するといったことで示すことができる。また、「経済性」、「水量安定性」、「水質安全性」の3要因のほかにも、「(給水の)公平性」や「(事故時等の)応急性」などの評価要因も考えられるが、これらは「水量安定性」ならびに「水質安全性」に含めて考えることができるため、ここでは上記3要因に限定することとした。



【本稿での評価要因のとりえ方】

図-1 評価要因とその関連

さて、経済性、安定性、安全性の3要因は前述のように相互に関連しているが、これらの実際の計画への用いられ方は、安定性、安全性を優先させ、それらのある基準を満たした案の経済性を評価するのが一般的である。本稿においては、水源系統の再編

*キーワード：水資源計画

**正員、(株)日水コン 環境事業部（東京都新宿区西新宿6-22-1、TEL 03-5323-6272、FAX 03-5323-6488）

***正員、(株)日水コン 大阪水道事業部（大阪市淀川区西宮原2-1-3、TEL 06-398-1607、FAX 06-350-5302）

****正員、工博、京都大学防災研究所総合防災研究部門（京都府宇治市五ヶ庄、TEL 0774-38-4307、FAX 0774-38-4044）

成に付いて費用配分方法を考察することを目的としており、再編成案の作成に際しては費用面での評価により行えるため、以下のように考えることにより図-1の下図の立場に立ち、「経済性」で評価要因を代表することとする。

水質安全性；水道にとって水質面で安全な水を供給することは第一義的な使命である。ここでは、安全な水質を確保することを前提として扱う。

水量安定性；水質の安全性が確保された状態で、需要水量を満たすように水源開発等を行うことが必要である。そこで、利水安全度として1/10のレベルの水源を開発することを前提とする。

3. 事例分析にもとづく再編成計画案の作成

ここではA市上水道の水源、浄水場系統を事例として、農業用水、工業用水の水利権転用を考慮した新規水源開発ならびに系統再編成案の作成について考察する。しかしながら、実際には利水転用は水利権の譲渡を意味しており、容易に転用が行われない性格を有している。このため、利水転用に際しては転用者間の費用負担を合理的に決定することが必須である。本稿では、この費用負担問題をゲーム論的にアプローチすることにより、合理的な配分方法を考察する。

ケーススタディの対象地域は図-2に示すとおりであり、X川、Y川、Z川の3川より水道用水の取水を行っている水道事業を想定する。水源のうち、A、D、Fは現在既に保有している自己水源であり、B、C、Eは新規の開発水源ならびに他水利からの転用で

ある（Bは農水転用、Cは水道用水供給事業からの受水、Eは工水転用）。また、図中の数値は、水源水量ならびに需要水量を表している。

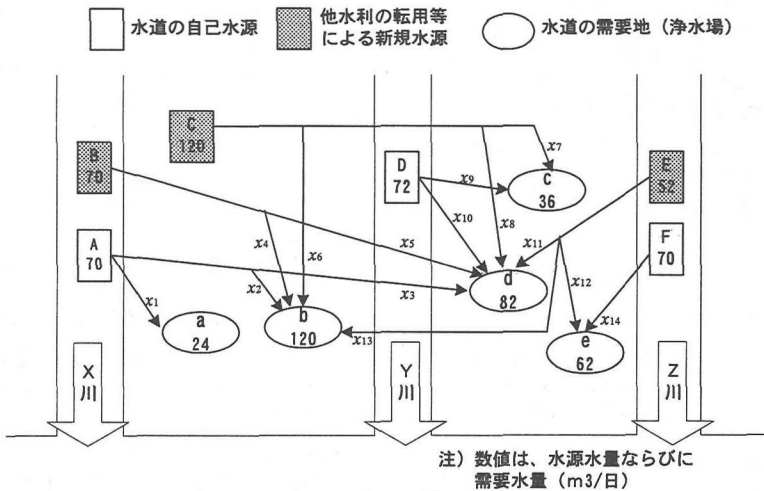
ここでは、まず、これらの水源、浄水場の全ての組み合わせについて輸送問題を解くことにより最適な水配分を決定する。次に共同事業としてどの水源開発が望ましく、かつどのように費用を分担することが望ましいかを考察する。

ここで水配分については、各経路に関する費用が線形であると仮定すれば、水量の制約が線形であることから、線形計画問題として定式化し、これを解くことにより最適解を得ることができる^{2), 3)}。

そこで、図-2のネットワークを輸送問題として定式化すると次式のようにになる。なお、 C_i は各経路のコストであり、数値事例としては表-1の値を用いている。

$$C^T Q = \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i \rightarrow \min \cdots \cdots (1)$$

制約条件	水源A；	$Q_1+Q_2+Q_3$	$\leq 70,000\text{m}^3/\text{日}$
	水源B；	Q_4+Q_5	$\leq 70,000\text{m}^3/\text{日}$
	水源C；	$Q_6+Q_7+Q_8$	$\leq 120,000\text{m}^3/\text{日}$
	水源D；	Q_9+Q_{10}	$\leq 72,000\text{m}^3/\text{日}$
	水源E；	$Q_{11}+Q_{12}+Q_{13}$	$\leq 52,000\text{m}^3/\text{日}$
	水源F；	Q_{14}	$\leq 70,000\text{m}^3/\text{日}$
	需要地a；	Q_1	$= 24,000\text{m}^3/\text{日}$
	需要地b；	$Q_2+Q_4+Q_6+Q_{13}$	$= 120,000\text{m}^3/\text{日}$
	需要地c；	Q_7+Q_9	$= 36,000\text{m}^3/\text{日}$
	需要地d；	$Q_3+Q_5+Q_8+Q_{10}+Q_{11}$	$= 82,000\text{m}^3/\text{日}$
	需要地e；	$Q_{12}+Q_{14}$	$= 62,000\text{m}^3/\text{日}$



注) 数値は、水源水量ならびに需要水量 (m³/日)

図-2 ケーススタディのネットワーク

表-1 各経路の単位水量当りの費用

【単位：円／m³】

経路 番号	水源開発費 (受水費等)	維持管理費			建設費		総コスト
		取水	導水	浄水	浄水場	管路	
1		5	10	15			30
2		5	10	15	80		110
3		5	20	15			40
4	30	5	10	15	60	10	130
5	30	5	20	15		20	90
6	140						140
7	140						140
8	140						140
9		5	5	25			35
10		5	10	25			40
11	30	5	10	15		10	70
12	30	5	10	15		40	100
13	30	5	10	15	90	30	180
14		10	10	65	40		125

注)建設費は、耐用年数により年平均価格として算定した。

式(1)を線形計画法により解いた結果を表-2および図-3に示す。これらから分かるように、水配分として最も経済的なケース(提携)は、水道事業に加えて農水、工水も加わった「提携123」であり、水道が単独で水道用水供給事業に参画した場合に比べて年当たり2,000千円安くなる。この場合の水配分は、水道用水供給事業から50千m³/日の受水を受け、農水から70千m³/日、工水から52千m³/日を転用し、

かつ処理コストの高い自己水源Fを60千m³/日余らせる結果となっている。

また、表-2には各水源開発手段の組み合わせ別の最適水配分結果およびこれらのケース(提携)での利得についても示した。この利得をもとに、水道事業、農業用水、工業用水の三者間での利得配分のコアを示すと図-4の斜線部分となる。

提携における費用分担を決定する上では、このコアの中からある利得配分を選択する必要があるが、ここではこの配分基準として、一般に用いられる仁、ならびに均等分担方式、比例分担方式の3方式により配分した(図-4ならびに表-3を参照)。ここで比例分担方式は、分離費用身替妥当支出法の考え方と同様であり、単独の場合と共同の場合との事業費の差、つまり利得を各参加者の残余便益比率で配分したものである。

これらの配分方式の中で、仁は「最大不満の最小化」の概念にも関わらず図-4および表-3に示されるように、均等分担方式、比例分担方式の2方式に比べ極端な利得配分結果を示しており、本事例のようなケースには適さないと考えられる。

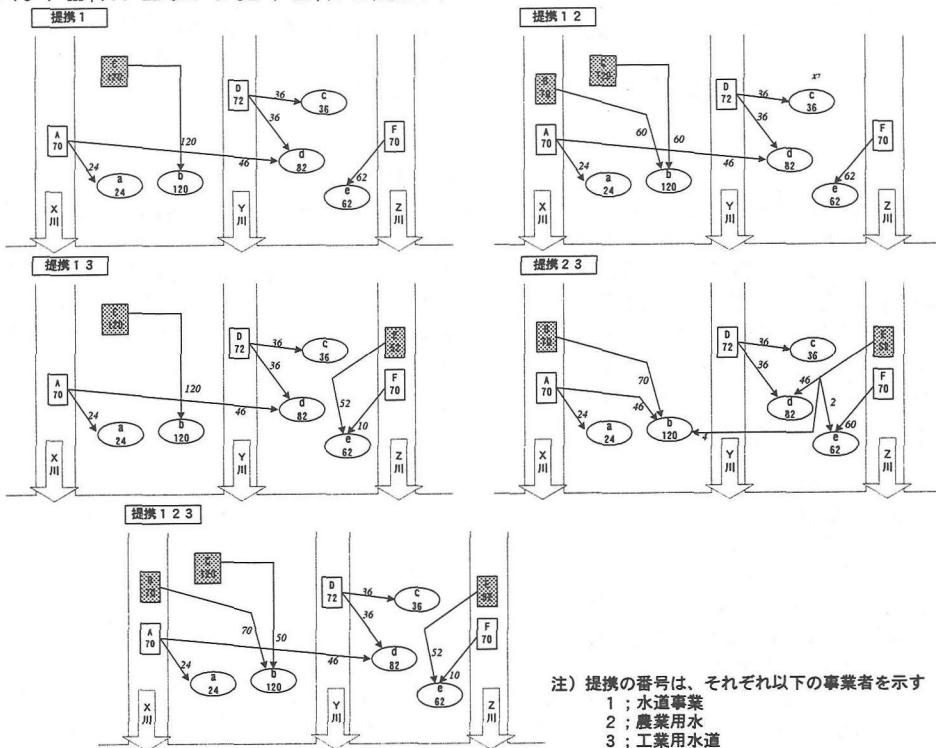


図-3 各提携の配分水量(単位：千m³/日)

表-2 水配分結果および総費用、利得

提携 S	水源開発 の状況	各経路の導水量 (m3/日)														開発水量 (m3/日)			総費用 (千円/年)	利得 V (千円/年)
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	用水	農水	工水		
1	用水供給のみ	24	0	46	0	0	120	0	0	36	36	0	0	0	62	120	0	0	29,810	0
12	用水+農水	24	0	46	60	0	60	0	0	36	36	0	0	0	62	60	60	0	29,210	600
13	用水+工水	24	0	46	0	0	120	0	0	36	36	0	52	0	10	120	0	52	28,510	1,300
23	農水+工水	24	46	0	70	0	0	0	0	36	36	46	2	4	60	0	70	52	29,220	590
123	用水+農水+工水	24	0	46	70	0	50	0	0	36	36	0	52	0	10	50	70	52	27,810	2,000

各事業の単独費用(千円/年)は次のとおり

用水	1,410
農水	700
工水	1,400

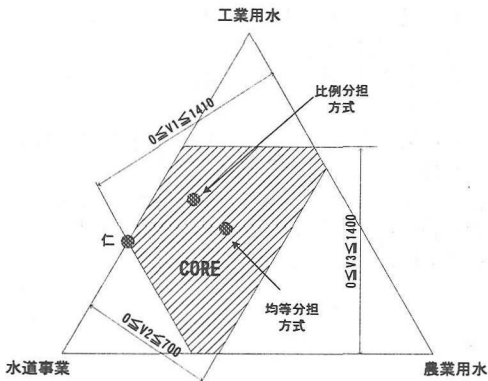


図-4 費用配分のコアと各種方式による利得配分結果

4. おわりに

本稿では、水道水源に関わる問題を解決するための手段として水源、浄水場系統の再編成に着目し、これを評価する方法について考察した。まず、水源、浄水場の再編成問題をネットワークの輸送問題として定式化し、目的関数とした総費用を最小化するように線形計画法を用いて最適な水配分解を求めた。そして、新規の水道水源の中には他水利からの転用など他事業者との交渉を踏まえた費用分担を決定しなければならないケースも想定されることから、このような水利転用に関わる費用分担問題を最適水配分の結果から得られる利得を解く聖地とする n 人協力ゲームとしてとらえ、このようなアプローチの有効性をケーススタディをもとに検証した。

今後の課題としては、以下の事項が挙げられる。

- ①本稿では、コアの中から妥協点を見出すために仁ならびに比例分担方式、均等分担方式の3方式を採用したが、いずれも各参加者が納得する絶対的な基準とはなり得なかった。このため、さらに多くのケーススタディを通じて、より合理的な配分の基準を模索していくことが必要と考える。

- ②費用関数、制約条件を全て線形として扱っているが、実際には規模の経済性等により非線形である場合が多い。このため、非線形計画問題として問題を定式化することも課題である。

- ③また、評価指標としては経済性のみに着目したが、他の指標を評価指標とすることや、他の指標を制約条件として指標間の関連を見ることも必要である。特に近年の水道の水源状況等を考えると、より望ましい水質の確保と言った視点が重要と考える。

- ④さらに、本稿では需要水量を確定的に取り扱っているが、将来の需要水量の動向によっては利得も変動するケースが考えられる。このため、水需要量の不確定性を考慮した水源開発等のあり方についても議論を進める必要がある。

【参考文献】

- 1) 松下真；富栄養化に伴う水道の障害と浄水処理高度化の動向、第35回全国水道研究発表会講演集、1984.5月
- 2) 渡辺哲雄・木村等；ゲームの理論と輸送問題、棋書店、1971
- 3) 鈴木光男・中村健二郎；社会システムゲーム論的アプローチ、共立出版、1976