

水道事業広域化整備における 水源選択評価基準の設定に関する事例研究

山田 淳¹・弘島 洋平²・甲賀 大志³・岩崎 篤史⁴

¹正会員 立命館大学教授 理工学部環境システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

²EJB Company, Inc. ³京都銀行 ⁴(株)日本ヘルス

都道府県単位の広域行政が、地下水を自己水源とする中小都市に対して用水供給を行うことを想定し、水道事業広域化のメリット、デメリットを考慮したうえで受益者が受ける便益、負の便益に関して評価を行った。その手順として、(1)広域水源導入地域のもたらす便益を各帰着主体別に分類し、(2)全ての便益項目を貨幣換算することにより便益の定量化を行い、(3)各地域、各主体の水道に対するニーズを反映させるために、72 ケースの水利用政策シナリオを想定してシミュレーションを行い、評価項目別および主体別に政策の及ぼす影響を把握し、(4) さらに、シミュレーション結果に主成分分析を適用し複数代替案の評価を行った。

Keywords: *Widen Adjustment of Water Supply Service, Water Resource Development, Local Water Resource, CVM, Principal Component Analysis*

1.はじめに

近年、地下水を水源とする一部の中小都市において水需要の増加に伴う地下水位の低下や水質悪化などが問題となり、その結果、地下水などの地域水源から表流水への水源転換などを含む広域水源へと水道事業の広域化が進められている。しかし、両水源ともにメリット、デメリットが存在するため、用途間、地域間など水源別の水利用選択が複雑化している。これらの問題に対し、これまでは、供給者側主体の政策が進められてきたが、本来水道の利用者である地域住民、事業所等も含めた公平な評価手法の確立が必要である。

本研究では、水道事業の広域化がもたらす便益を各帰着主体別に分類し、すべての便益を貨幣換算することにより定量化を行った。そして、費用対便益の枠組みで事業の評価を行い、最終的に地域特性、利用主体のニーズに応じた、最適な広域化政策導入のあり方を検討した。

2.ケーススタディーの概要

(1) 調査対象地域の概要

ここでケーススタディーの対象としたのは、2 市 1 町で構成される京都市乙訓地域(以下 O 地域とする)および宇治市(以下 U 市とする)である。O 地域の人口は 3 市町合わせて 15 万人、U 市は 19 万人程度である。ともに大都市近郊型の地域で、鉄道、幹線道路などの都市基盤も整っており、経済成長期の後、人口が急増した地域である。

(2) 対象事業の概要

O 地域においては、水需要の増大と地下水位の低下などに対応し、安定水源によるライフラインの確保を図るため、従来の地下水による自己水源への全面的な依存から表流水による用水供給を導入するとし、都市用水として毎秒 0.86m³ を新設ダムで確保することとされた。具体的には、O 地域 2 市 1 町からの要望に基づき、水道用水供給事業として、新設の O 浄水場が整備され、2000 年秋に給水が開始された。なお、O 浄水場は 2010 年に施設が

拡張されることとなっている。

一方、U市ではO地域に先駆けて1964年から広域化整備が進められてきたが、将来O浄水場の拡張に伴い、同浄水場からの広域水資源を受水することとなっている。図-1に施設整備計画の概要について示す。

本研究ではU市を対象にO浄水場からの新規広域水資源の受水効果の評価を行う。

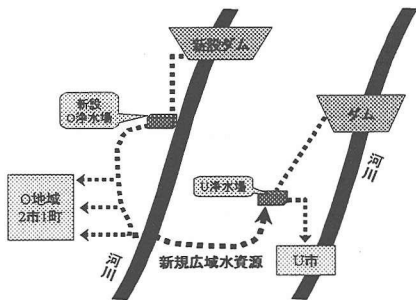


図-1 施設整備計画図

3. 調査の方法

(1) 地域内水需要構造の分析

水道事業の広域化政策を進める上で、前提となるのは、対象となる地域の現状を的確に把握するとともに、社会動向および水需要構造の変化を予測することである。

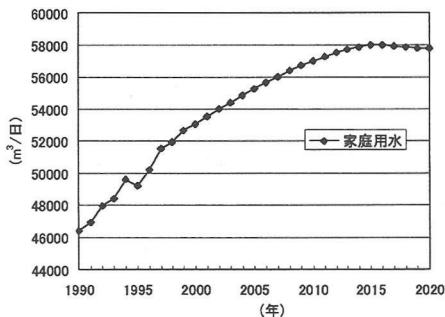


図-2 家庭用水量の将来推計値

U市における用途別使用水量の実績(～1998

年)と将来推計(1999年～)値を計算した。推計値は、人口、世帯数、都道府県内総生産等を基本的諸変数とした回帰分析によった。需要の80%以上を占める家庭用水の結果のみを図-2に示す。

(2) 水道利用者意識調査

本論で取り上げるような広域化政策の導入という水源転換は、行政主導であり、利用者の意思が考慮されにくいという現状がある。近年の水道サービスに対する利用者ニーズが向上している中、最適な広域化政策を考えるため、地域内の水道利用者に対して、表-1に示すようなアンケート調査を実施した。

表-1 住民アンケート調査概要

対象地域	U市(U配水区、M配水区、F配水区)
調査期間	2000年9月～11月
方法	留め置き郵送回収
質問項目	・現在の水道事業に対する満足度 ・新規広域水資源受水に対するWTP
回答形式	ダブルバウンド2項選択方式
回収数(率)	256サンプル(53.9%)

広域水資源に関する設問では、CVM(Contingent Valuation Method: 仮想市場評価法)を用い、新規の広域水資源が受水されることに対するWTP(Willingness to pay: 支払意思額)と、水源が変更されることに対するWTA(Willingness to accept compensation: 受入補償額)を質問することにより環境変化の価値を算出した。まず対象者に新規広域水資源受水後の仮想的な状況を提示し、広域化整備に対するWTPを尋ねた。質問形式については、提示額に対してyesまたはnoで答える2項選択方式、また1回目の提示額に対する回答に応じて2回目の金額を提示するダブルバウンド方式を採用した。表-2に提示金額のパターンを示すが、今回は1世帯1ヶ月あたりの水道料金値上げ額として提示した。広域水資源導入に対する住民のWTPおよびWTAの結果について表-3に示す。ここで、UおよびM配水区は地下水を水源とし、F配水区は1964年から広域水資源を水源としている配水区である。WTPはU

市全体で 688(円/世帯・月)となった。水道事業者が現在検討中の値上げ額を 50(円/m³)と仮定すると、20(m³/月)水道を利用する家庭の負担増加額は 1000(円/月)である。この金額と WTP を比較すると、3 配水区とも負担増加額の方が大きくなる。

表-2 提示金額 (円/世帯・月)

	1回目の提示額	2回目の提示額	
		1回目Yes	1回目No
type1	500	1000	250
type2	1000	1500	500
type3	1500	2000	750
type4	2000	2500	1000

表-3 WTP および WTA の結果

	WTP (円/世帯・月)	WTA (円/世帯・月)
U配水区	838	594
M配水区	559	761
F配水区	628	676
U市全体	688	655

次に、WTA では、水源が地下水から表流水に変更されるU、M配水区で逆の結果となっている。U配水区の地下水水質がM配水区の水質よりかなり悪いことが推測される。

前年度に O 地域において同様の調査を実施したところ、広域水資源の導入に対する WTP は 672(円/世帯・月)、WTA は 1022(円/世帯・月)であった。この結果から、広域水資源受水による便益よりも水質低下によって失った損害のほうが大きいと考えることができる。このときの回収数は 368 サンプルで回収率は 61%であった。

ここで、U 市と O 地域との調査結果を比較すると、WTA で 350(円/世帯・月)以上の差がみられた。この原因としては現在使用している水道の水質に対する認識の違いが影響していると考えられる。U 市および O 地域における満足度調査結果をそれぞれ図-3、図-4 に示す。

顕著な差がみられるのは水質であり、U 市の 38.6%に対し O 地域では 72.1%となっている。浄水器およびミネラルウォーターの使用率をみると、U 市ではそれぞれ 34.4%、34.3%であるのに対し、O 地

域では 20.0%、11.8%である。この結果より、O 地域では利用者は水源の水質は良質であると認識していることが分かる。また、総合評価でも U 市では 26.0%、O 地域では 46.8%となっており、水質満足度の影響がそのまま反映されている。

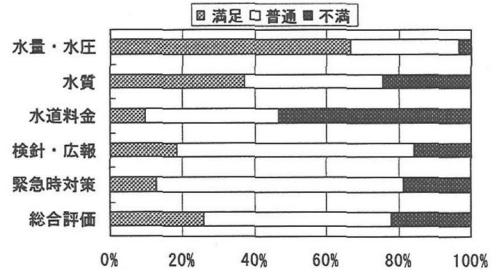


図-3 U市の水道事業に対する満足度

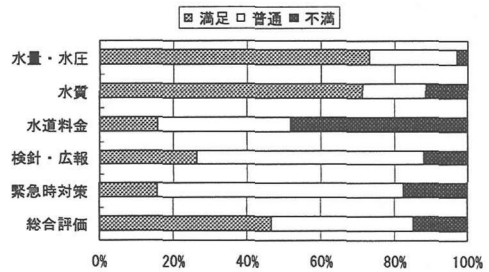


図-4 O地域の水道事業に対する満足度

4. 水源選択評価モデルの構築

水道事業広域化政策を現実味のあるものとして捉え、費用対効果の枠組みで評価するべく、受水により発生する負担コスト及び発生便益の帰着先を明確化していく。また、各評価項目を統一された価値基準で評価するために、すべての評価項目を金銭価値で算出する手法を確立することによって費用と便益を比較することにした。なお、ここでの評価は、単年度評価とし、O 浄水場の施設能力の拡張が完成する 2010 年(平成 22 年)を評価対象年とする。

(1) 費用便益帰着構成表による主体別評価項目

の分類

表-4 の費用便益帰着構成表に示すとおり評価項目と評価主体について分類する。各評価項目の帰着先が表中の丸付き番号の欄となっている。

まず、評価主体の分類であるが、水道供給者として、用水供給を行う用水供給事業体、供給を受ける末端水道事業体(U 市)を設定する。次に、水道利用者については U 市の住民および、地域に属する事業所をあげる。事業所には各自治体から上水道供給をうける工場および営業・業務施設が含まれている。

表-4 費用便益帰着構成表

	水道供給者		水道利用者	
	用水供給事業体	末端水道事業体	住民	事業所
評価項目		①		
受水コスト				
原水・浄水費変化	②	③		
水道料金(収支)変化	④	⑤	⑥	⑦
危機管理			⑧	
水質変化			⑨	
味覚変化			⑩	⑪
環境保全効果			⑫	
合計	用水供給事業体帰着便益	末端水道事業体帰着便益	住民帰着便益	事業所帰着便益

注) ○ 地域調査は水質と味覚を合わせて評価した

(2) 主体別コスト負担及び帰着便益の貨幣換算

ここでは広域水資源が導入されることにより発生するコスト及び便益についてその帰着先別に見ていく。

a) 受水費

まず、費用便益分析の枠組みでいう費用(コスト)として、広域水受水市町が用水供給事業体に支払う受水費を用いる。ここでの費用負担主体は広域水資源を受水する水道事業体とする。以下で述べる発生便益については、この受水費(受水量)が各地域にもたらす効果とする。なお本モデルでは、従量料金制の料金体系を用いる。

$$\text{① 受水費} = \text{広域水資源供給原価}(163.7 \text{ 円}/\text{m}^3) \times \text{受水量}$$

b) 原水・浄水費変化

ここでは、広域水資源の受水量が変化することによる浄水コストの変化について見る。新規に広域水資源を受水することにより、これまで

地下水を浄水処理してきた浄水場では、処理費用が削減されることになる。したがって、末端水道事業体では浄水費支出の減額分を便益とする。一方、用水供給事業体ではその分だけ新たに処理費用が生じるため負の便益が発生することになる。

$$\text{② 原水・浄水費変化} = (\text{新規広域水配水量}) \times (\text{現在の原水・浄水費単価})(\text{円}/\text{m}^3)$$

$$\text{③ 原水・浄水費変化} = (\text{新規広域水受水量}) \times (\text{現在の原水・浄水費単価})(\text{円}/\text{m}^3)$$

c) 水道料金収入変化

ここでは、水道料金の支出変化及び収入変化を示す。わが国の水道事業体は原則的に独立採算性を採っていることから、表-4 における⑥(住民の水道料金支出変化)と⑦(事業所の水道料金支出変化)の合計が⑤(末端水道事業体水道料金収入変化)となるように設定する。

$$\text{④ 用水供給事業体料金収入変化} = (\text{新規広域水資源受水費} + \text{従来広域水資源受水費}) - (\text{新規広域水資源受水なしの受水費})$$

$$\text{⑤ 水道事業体料金収入変化} = -(\text{⑥} + \text{⑦})$$

$$\text{⑥、⑦ 水道料金支出変化} = (\text{新規広域水資源受水後の水道料金}) - (\text{新規広域水資源受水なしの水道料金})$$

表-5 水源および用途別供給単価(円/m³)

	地下水	従来広域水資源	新規広域水資源
家庭用	76.1	31.3	146.1
会社・工場用	123.3	50.7	236.6
営業用	107.7	44.3	206.6
平均	85.3	35.1	163.7

※新規広域水資源受水後の水道料金は、使用水量の混合比率(広域水資源と自己水)から水源別の使用割合を算出し、水源別の供給原価をそれぞれ乗じる。自己水の供給単価は表-5 の現状単価を用いる。また、新規広域水資源の供給単価は、供給原価に用途別の割合を乗じたものを用いる(表-5)。用途別の割合は○地域の比率を使用し

た。

d) 危機管理便益

緊急時の水量確保など、水道水安定供給を便益とし、ここでは帰着先主体を住民のみとする。重み付け係数は、住民アンケートの意識調査結果から定めた。

⑨ 危機管理便益＝新規広域水資源受水に対する WTP(表-6)×重み付け係数(表-7)×余剰水確保率※

※新規広域水資源を受水することにより各浄水場に新たに生じる余剰水の増加率

表-6 新規受水に対する WTP (円/日)

U配水区	329665
M配水区	38250
F配水区	1298040
その他	158764
U市全体	1824720

表-7 重み付け係数

	危機管理	水質変化	環境保全効果
U配水区	0.42	0.17	0.41
M配水区	0.35	0.21	0.44
F配水区	0.38	0.11	0.52
U市全体	0.39	0.16	0.45

e) 水質変化

水源水質の比較的悪い配水区では、水質改善効果が期待できる。そこで、家庭用として水道水を使用する住民を帰着先主体とする。

⑩ 水質変化＝水質 1 点当たり WTP(表-8)×水質得点変化※

表-8 水質 1 点当たり WTP と WTA (円/日)

	水質WTP	味覚変化WTA
U配水区	19539	-28984
M配水区	2851	-4848
F配水区	48525	-97437
その他	8765	-14065
U市全体	79680	-145334

※水質得点は6項目(pH、硬度、有機物、鉄、塩素イオン、残留塩素)の指標を得点化し総合化したものである

f) 味覚変化

U市のUおよびM配水区では、これまで地下水

を水源としていたため、表流水である新規広域水資源を受水すると水道水の味覚が低下するということが考えられる。ここでも家庭用として水道水を使用する住民を帰着先主体とする。なお、アンケート結果により、水道水の味覚が低下した場合、ミネラルウォーター、浄水器等で代替水を補うための可能出費額が得られているため、それらの売上増による事業所の利益増を事業所帰着便益とする。

⑪ 味覚変化(住民)＝水質 1 点当たり WTA(表-8)×水質得点変化

⑫ 事業所利益収入変化＝代替水需要量変化×代替水利益収入※

※ミネラルウォーターの原価を 75%として残りの 25%を利益収入とする

g) 環境保全効果

地下水利用の負担を減らすことによる井戸の保全、または、省エネルギー効果を総称して環境保全効果とする。

⑬ 環境保全効果＝新規広域水資源受水に対する WTP(表-6)×重み付け係数(表-7)×地下水低下回避率※

※新規広域水資源の受水により各浄水場での地下水揚水量が削減された後の地下水位低下量と以前の低下量との比率

5. シナリオシミュレーションによる広域化整備事業代替案の評価

(1) シナリオ設定

本論の目的である、広域化整備導入の最適化を考えるにあたり、次のような考え方に基づいて整備項目を分類し、これらを組み合わせてシナリオを作成する。(表-9)

まず新規広域水資源の受水量とし 100%から 25%まで 4 段階を設定した。100%とは O 浄水場の施設能力から O 地域への配分水量を差し引いた

水量のU市への割当量である。

また、比較的水質の良好な配水区とそうでない配水区単独で受水するケースと市内全域に平等に受水するケースを想定した。

さらに、U市は3つの水源を有することから、どの水源を優先的に使うと便益が大きくなるのかを検討し、最後に新規広域水資源をどの用途に利用するとU市にとって最適であるかを検討した。

表-9 シナリオの設定

シナリオ大項目	シナリオ小項目	記号
新規広域水資源受水量	100%	100
	75%	75
	50%	50
	25%	25
新規広域水資源配水区	全配水区	A
	U配水区	U
	M配水区	M
	均等配水	
従来広域水資源と地下水の配水量	従来広域水優先	a
	地下水優先	b
		c
水資源の優先使用用途	広域水を家庭用水に優先	I
	広域水を工場および業務・営業用水に優先	II

(2) 評価項目別便益

前節で設定したシナリオにより検討したシミュレーション結果を評価項目ごとに検討した。図-5 に危機管理の便益結果(一部)を示す。

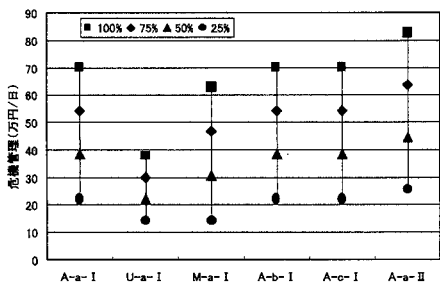


図-5 危機管理便益結果

表-9 のシナリオ大項目に対応させて結果をみていくと、受水量では100%、配水区では市内全域で受水するケースの便益が最大となっている。U配水区で優先受水する場合の便益が低くなっているが、その原因はF配水区で水不足が生じてしまうか

らである。また、優先水源シナリオの影響はまったく見られない。優先用途では広域水資源を工場および業務・営業用水に利用した場合の便益が大きくなっている。

(3) 評価主体別便益

ここでは、評価主体を代表して住民帰着便益の結果(図-6)を考察する。

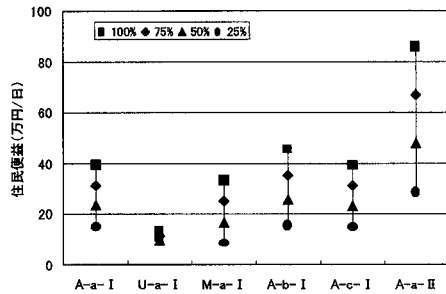


図-6 住民帰着便益

住民帰着便益は水道料金支出変化、危機管理、水質変化、味覚変化、環境保全効果の総和とする。危機管理便益の影響によりU配水区への優先受水時の住民帰着便益が小さくなっている。優先水源シナリオでは、便益に2倍以上の差が生じている。

(4) 費用便益比(B/C)による検討

U市内にとどまるすべての便益項目を末端水道事業者が用水供給事業者へ支払う受水費で除した費用便益比(B/C)の結果を図-7示す。B/Cが最大となるのは新規広域水資源の受水量が25%で市内全域に受水し、それを工場および業務・営業用水に優先利用した場合である。ここでの評価は相対評価であるので、B/Cは実現可能性と捉えるよりも、整備の効率性と捉えた方が自然であると考えられる。

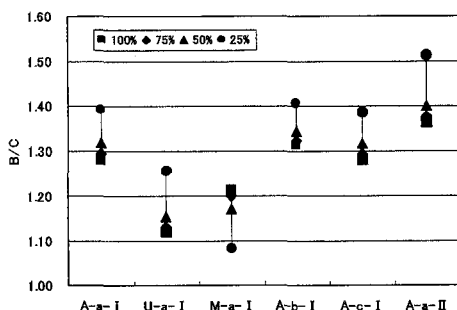


図-7 費用便益比(B/C)

6. 主成分分析による用水供給事業計画の検討

これまで、シミュレーション結果をみてきたように、評価項目や評価主体ごと、さらにはB/Cでは有効な政策シナリオが異なる。そこで、すべての項目や主体を総合して考えたときの最適な政策案を主成分分析により検討する。

(1) 各評価項目への影響

水源選択評価モデルにおける評価項目を説明変数として主成分分析を行った。

図-8にそれぞれ第1、第2主成分固有ベクトルの散布図を示す。寄与率はそれぞれ61.4%、21.4%である。図-8の第1および第4象限には受水量が多くなると正の便益が増加する評価項目、第2および第3象限には逆に負の便益が増加する評価項目が並んでいる。そこで、第1主成分を「広域化整備効果軸」とした。一方、第2主成分は、解釈が困難であるため、シナリオ大項目ごとの平均主成分得点を散布図上にプロットし、一元配置分散分析により有意差の検定を行ったところ、受水配水区のシナリオで有意差が確認されたので、「広域化整備効果影響範囲軸」とした。

全72ケースのシミュレーション結果の主成分得点を比較したところ「広域化整備効果」の大きいケース、地域公平性をあらわす「広域指

整備効果影響範囲」が大きいケースを抽出することができた。

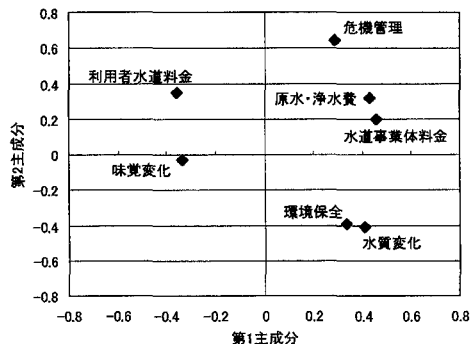


図-8 固有ベクトル散布図(評価項目)

(2) 各評価主体への影響

同様に各評価主体帰着便益、費用便益比(B/C)、市内総便益を説明変数として主成分分析を行った。図-9に散布図を示す。寄与率はそれぞれ64.9%、29.7%である。第1、第4象限のみにプロットが存在するので、第1主成分は「総合効率性評価軸」とした。また、第2主成分は水道事業体と利用者を弁別するので「帰着主体軸」とした。主成分得点を示したところ、「総合効率性評価」の高いケース、「帰着主体のバランス」がとれているケースを抽出することができた。

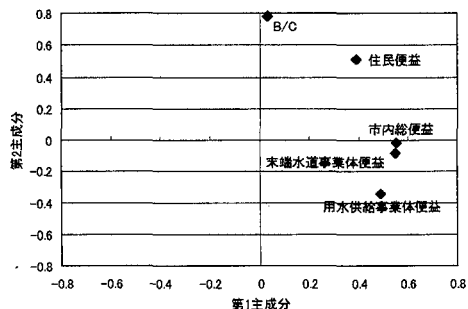


図-9 固有ベクトル散布図(評価主体)

(3) 総合評価

主成分分析による検討から、「整備効果」、「公平性」、「効率性」、「バランス」の4つの評価指

標が卓越するシナリオを選定し表-10 にまとめた。水資源受水量は 100%、全域への配水（A）か、Mへの配水が優位で、バランスを優先すれば家庭用水に優先配分することになる。

表-10 シナリオ特性

	公平性	整備効果
バランス	100- A-a- I	100- A-b- I
	100- A-c- I	100- M-b- I
	100- M-a- I	
	100- M-c- I	
効率性	100- A-b- II	
	100- M-b- II	

7. まとめ

- (1) 水源選択評価モデルの構築により、帰着主体別の便益算出方法について提案した。
- (2) 独自に設定した整備シナリオを組み合わせた 72 ケースのシミュレーションを行い、地域特性に応じた最適な新規広域水資源の受水量、用途配分等を示した。

- (3) 主成分分析による総合的な評価を行うことにより、本モデルにおける広域化整備の最適な水源選択方法を提言した。

参考文献

- 1) 国土庁長官官房水資源部編：日本の水資源 平成 12 年度版（2000）
- 2) 栗山浩一，公共事業と環境の価値，築地書館（1997）
- 3) 池淵周一：総合的な水資源対策，水資源ハンドブック p379-384
- 4) 多々納裕一，水利用の新たな展開，水文・水資源ハンドブック 384-387，朝倉書店（1997）
- 5) 水収支研究グループ編，地下水資源・環境論—その論理と実践，274-309，共立出版（1992）
- 6) 池淵周一，水資源のより安定な供給にむけて，第 5 回水資源に関するシンポジウム講演集，1-10（1997）

INVESTIGATION RESEARCH FOR ESTABLISHMENT STANDARD FOR WATER RESOURCE SELECTION ON WIDEN ADJUSTMENT OF WATER SUPPLY SERVICE

Kiyoshi YAMADA, Yohei HIROSHIMA, Daishi KOUGA and Atsushi IWASAKI

An administration organ in wide area like a prefecture government provides part of drinking water to small cities that they have their own water sources like ground water for drinking. The merit and demerit of such a surface water usage in wide area were discussed and the benefit and risk were evaluated. As a process, (1) the benefit from the project were classified every benefit subject, (2) all of benefit were quantified as the money term every items, (3) the influence of policies for water usage every items and every subjects by 72 cases of scenarios simulation were calculated, (4) and the alternatives of policies were evaluated by a principal component analysis. As a result, it was cleared that the optimum policy for this area is to receive all of the planned water volume from the prefecture government and deliver to all of areas in the Uji City.