

# 環境効率指標による 都市内河川環境改善事業の評価

尾崎平<sup>1</sup>・三浦浩之<sup>2</sup>・和田安彦<sup>3</sup>・渡邊雅巳<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 修(工) 関西大学助手 工学部土木工学科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3-3-35)  
E-mail:ozaki\_t@ipcku.kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 博(工) 広島修道大学教授 人間環境学部 (〒731-3195 広島市安佐南区大塚東1-1-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 関西大学教授 大学院工学研究科 (〒564-8680大阪府吹田市山手町3-3-35)

<sup>4</sup>正会員 修(工) 八千代エンジニアリング(株) 水工部 (〒153-8639東京都目黒区中目黒1-10-12)

我々は、都市内の河川環境改善事業として、下水処理水還流事業、直接浄化事業、護岸整備事業を取り上げ、環境効率指標を用いて検討・評価した。評価項目は、WTP、来訪頻度増加量、環境負荷、コストである。WTP、来訪頻度増加量はアンケート調査により定量・評価した。アンケートに際しては、回答者が抱く環境改善事業後のイメージを統一化するために、事業前と事業後のイメージ写真を並べて提示した。さらに、各事業のライフサイクルのコスト・環境負荷を算出し、得られる成果とコスト・環境負荷の関係から環境効率指標を算出した結果、直接浄化事業が最も評価が高かった。

**Key Words :** *eco-efficiency, satisfactory level, willingness to pay, value of existence, image photograph*

## 1. 結論

河川法が改正(1997年6月)され、従来の治水・利水に加えて「環境の整備・保全」が位置づけられると共に、計画段階からの住民参加が重要になった。また、長良川河口堰や吉野川第十堰の建設が大きな社会問題となり、事業実施と住民のニーズのずれから多くの問題が生じている。そのため、これからの河川環境整備事業の選定では、費用便益比だけでなく、住民の事業に対する評価も考慮して行う必要がある。

また、地球環境問題への対応から公共事業においても環境に対する負荷を軽減する必要がある。平成10年6月に決定された「地球温暖化対策推進大綱」を見直し平成14年3月には温室ガス排出抑制の取り組み等について新たな大綱が策定された(以下：新大綱)<sup>1)</sup>。新大綱では京都議定書にて約束された「我が国における温室効果ガスの総排出量を2008年から2012年の間に基準年(1990年)レベルから6%削減する」を履行するために必要と考えられる地球温暖化防止のための取り組みを積極的に推進していくことを掲げている。

我が国の温室効果ガス排出量の現状は1999年で13億1400万t-CO<sub>2</sub>であり、現行対策のままでは2010年時点で約13億2000万t-CO<sub>2</sub>の見通しである<sup>2)</sup>。京都議定書で採択された目標総排出量は11億5500万t-CO<sub>2</sub>であり、相当分の追加的排出削減の達

成を図る必要がある。

このような背景のもとに公共事業においても率先して温室効果ガスの排出量を抑える必要があり、代替案を複数設定し、より温室効果ガスの排出量の少ない事業を選択することが重要となっている。したがって、これからの公共事業の評価を行うに当たっては、事業に対する「住民の評価」、「環境負荷」、「コスト」を考慮した評価が必要であり、複数の代替案から最も効率的な事業を実施することが要求されている。

製品では、既により少ないエネルギー、資源とコストでより価値の高い製品を生み出すための評価指標として環境効率(エコ・エフィシエンシー)という考え方がある<sup>3)</sup>。筆者らは、既にこの環境効率を評価指標とし、下水道未整備流域を流下する河川の水環境改善事業を対象に、(1)河川水環境改善手法を導入することによる水環境改善効果ならびにライフサイクルのコスト、環境負荷の定量を行った。さらに、(2)ある河川水質目標を達成するために行う河川水質改善手法のライフサイクルのコスト、環境負荷を定量し、各手法を相対評価することにより改善効果が高く、環境負荷面、コスト面あるいは両面で優れた手法を選択する方法とその適用例を示した<sup>3)</sup>。

本論文ではさらに、これまでは評価項目に盛り込んでいなかった住民の評価を評価項目として加えることを試みた。住民の持つ事業価値(環境価値)を定量する方法として、CVM(Contingent Valuation

Method)を用いた。CVMは、アンケートなどで仮想的な環境変化を回答者に示して、この環境変化に対する支払い意志額や補償受容額をたずねて、環境価値を評価する手法である<sup>4)</sup>。本論文では河川環境改善事業実施後の河川環境をシミュレーション解析に基づいたイメージ写真を用いて、被験者のイメージ統一を図り、事業に対する住民の評価を定量した。

環境の創造を対象としたCVMでは、高木らによる伊勢湾の水質浄化事業に対する評価<sup>5)</sup>、盛岡らによる河川環境整備に対する評価<sup>6)</sup>等が行われている。これらの研究では、創造される仮想的な環境の状況、例えば水質であれば、水質レベルで表示した図や、生息可能な魚類などを用いて説明している。創造されるであろう環境に対して、言葉や基準による説明だけでは抽象的になり、評価対象に対するアンケート回答者のイメージを統一することは難しい。

本論文では比較的美しい河川ではあるが、住民にとって都市の中の憩いの場と成り得る河川を対象に、より河川をきれいにし、利用されるための複数の河川環境改善事業を選定した。各事業の効果についてイメージ統一を図った上で住民の評価を行い、さらに環境負荷、コストを定量し、環境効率指標を用いて河川環境改善事業の評価を行った。

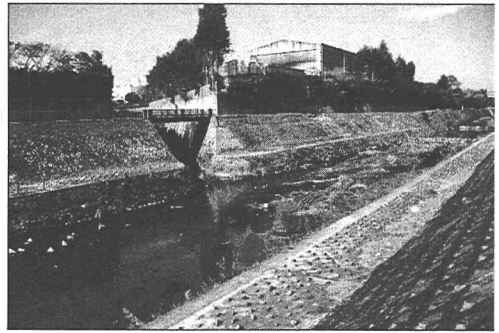


図-1 対象河川

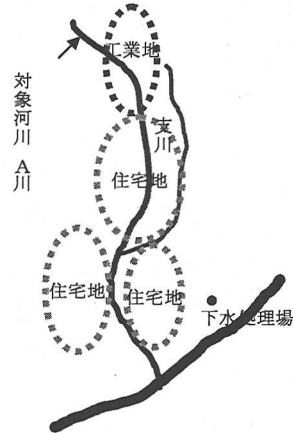


図-2 対象河川の地図

## 2. 対象河川及び河川環境改善事業

### (1) 対象河川の概要

対象河川A川は、流域面積16km<sup>2</sup>、延長5.3km、河床勾配1/5,000、水面幅10m前後、兩岸の天端幅が15~25m程度である。上流域はコンクリートによる3面張りであり、中流域では高水敷に散歩道が設けられている都市内河川である(図-1)。また、流量は0.18m<sup>3</sup>・sec<sup>-1</sup>程度と少なく、水質はBOD:3~5(mg・L<sup>-1</sup>)、SS:2~31(mg・L<sup>-1</sup>)である。

河川の周辺地図を図-2に示す。住宅地内を流れるA川周辺には自然空間やオープンスペースが少ないことから、住民にとって貴重な空間となっている。しかし、水質が良好でないため、水と直接触れるような用途では、利用されていない。

このように利用空間として住民のニーズはあるものの、それを満足させる環境が整っていない河川を対象とした。

住民のニーズを満足できるよう、環境が改善されれば、よりいっそう利用用途が広がり、周辺住民の河川に対する価値観は飛躍的に向上すると考えられる。

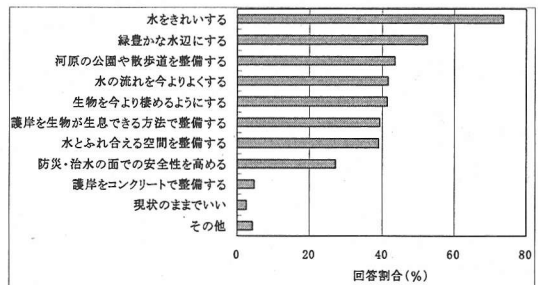


図-3 対象河川の改善して欲しい項目

### (2) 河川環境改善事業のオルタナティブ

筆者らは、1999年にこの対象河川の周辺住民に対し、河川環境に対する意識をアンケート調査し<sup>7)</sup>、河川環境の改善してほしい点を明らかにした(図-3)。「水をきれいにする」、「緑豊かな水辺にする」、「水の流れをよくする」等の項目がA川の周辺住民の要望として強いことがわかっている。

そこで要望を達成する方策として①直接浄化事業、②処理水還流事業、③護岸整備事業の3つの環境整備事業を設定した。これらの事業について「住民の持つ事業価値」、「環境負荷」、「コスト」からの総合的な事業評価を行う。各事業の諸元を表-1に示す。

表-1 河川環境改善事業のオルタナティブ

諸元	
① 直接浄化	処理方式: 礫間接触酸化法, 処理水量: 7,800m <sup>3</sup> ·day <sup>-1</sup> (現況流量の50%), 容量: 1350m <sup>3</sup> , 目標除去率: 50% <sup>9),10)</sup> , 設置位置: 評価区間の最上流
② 下水還流	処理方式: 凝集剤添加循環式硝化脱窒法と急速ろ過(高度処理), 還流量: 7,800m <sup>3</sup> ·day <sup>-1</sup> , 還流水質: BOD 濃度 1mg·L <sup>-1</sup> <sup>8)</sup> , 還流距離: 新規敷設 1,000m と一部既存の送水管を使用, 管径: 300mm, 還流用ポンプ場を新設(ポンプ 1 台) 還流位置: 評価区間の最上流
③ 護岸整備	多自然型工法を採用(工種は基礎工, 木目枠工, ふとんかご工, 巨石積工(練), 張り芝工 <sup>12)</sup> ), 整備区間: 1,700m(中流域の両岸)

a) 直接浄化事業

直接浄化方法は、礫間接触酸化法を用いる。計画処理水量は現況河川流量の 50%である約 7,800m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup>と設定した。施設設定については、既往文献<sup>8)</sup>を参考にした。容量は 1350m<sup>3</sup>とし、目標除去率は 50%<sup>9),10)</sup>とした。運用は、取水ゲートの開閉、浄化施設の清掃及び取水口のゴミ除去及び汚泥処理とする。

b) 下水処理水還流事業

還流水質は標準活性汚泥法に凝集剤添加循環式硝化脱窒法と急速ろ過を加えた処理法で高度処理された処理水(BOD 濃度 1mg·L<sup>-1</sup>)<sup>11)</sup>と設定した。還流用管渠及び還流用ポンプ施設(ポンプ場, ポンプ 1 基)を新たに建設し、河川下流に位置する既存の処理場で還流用の水を処理する。還流距離は、一部既存の送水管を使用するとして新規敷設 1,000m と設定した。管渠径は既存の送水管と同様の 300mm とした。還流量は、現況河川流量の 50%である約 7,800m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup>と設定した。運用はポンプ運転とする。

c) 護岸整備事業

多自然型護岸工法を用いて護岸整備を行い、より多くの生物が生息できる環境を創出するとともに、親水性の向上を図る。護岸整備を行う範囲は、現在高水敷に散歩道が整備されている区間の約 1700m の両岸とした。護岸の建設には、基礎工, 木目枠工, ふとんかご工, 巨石積工(練), 張り芝工<sup>12)</sup>を用いた。運用は、堤防除草工を年 1 回行うと設定した。

3. 環境効率指標による事業評価手法

(1) 環境効率指標

環境効率は製品と生産プロセスの設計において、環境的配慮をどう取り入れるかが重要であり、基本的には製品価値、顧客満足度、付加価値等の対象物の価値(パフォーマンス:P)をコスト(C)やインパクト(I)で除したものと定義される<sup>2)</sup>。本論文ではこの定義に基づき環境効率を P/(C·I)で評価するが、パフォーマンス(P)は大きいことが望ましく、コスト(C)とインパクト(I)は小さいことが望ましい。したがって、現在の利用者重視の社会では、利用者からみた評価を大きくし、それを達成するためのコスト、環境影響を小さくする、すなわち、P/(C·I)を最大化する事業が必要であり、本指標はそれら事業を相対的に評価するものである。

本論文では、環境効率指標を次式により求める。

$$\text{環境効率指標 } EE_A = \frac{P_A}{C_A \cdot I_A} \quad (1)$$

ここに、EE<sub>A</sub> : 環境効率指標, P<sub>A</sub> : 事業 A のパフ

ォーマンスの相対評価値, C<sub>A</sub> : 事業 A のコストの相対評価値, I<sub>A</sub> : 事業 A の環境負荷の相対評価値である。なお、基準となる事業の評価値を 1.0 として他の事業の評価値を相対値化して比較を行う。

したがって、環境効率指標値が大きいほど事業の価値が高いことを示す。

(2) パフォーマンス評価

今回対象とするパフォーマンスは事業によりもたらされる便益であり、住民満足度として評価できる。本論文では、各事業に対する「住民の支払い意思額(以下 WTP; Willingness To Pay)」と「河川への来訪頻度の増加量」を住民満足度として評価した。WTP, 来訪頻度の増加量ともに、環境改善による現状をベースとした増分である。WTP を定量するにあたり、ここでは、事業に対する全体評価を住民に行ってもらうため、事業全体の価値を評価できる CVM を用いた。CVM には評価対象の伝達ミスによるバイアスが生じることがある。具体的な問題を以下に示す。

- ① 事業実施により創出される環境状況(水質改善や流況変化)を BOD 値等の水質指標や、流速値で表現しても、回答者はイメージしにくい。
- ② 「水がきれいになる」、「生物が増える」といった説明だけでは、抽象的でありイメージしにくい。また個人個人でのイメージが異なる。
- ③ 水質環境基準に示されている生息可能魚類を用いて水質を表現する方法が多く用いられているが、魚類の生息は、水質の他に、水温、流速、水深、底質も影響するため、一概に魚類で水質を表現するには問題がある。

そのため、文面のみによるアンケートでは、住民が抱く改善効果のイメージを統一できず、判断基準が曖昧になることにより WTP, 来訪頻度の増加量が同一条件で評価できなくなり、結果に与える影響は大きいと判断した。そこで本研究では、この問題を解消し、回答者が抱く環境改善事業後のイメージを

統一化するために、各事業の説明文と共に画像編集ソフトを用いて河川の写真を加工し事業前と事業後のイメージ写真を並べて提示した。なお、事業後の流速、水質、流量についてはシミュレーションにより定量した。

来訪頻度の増加量は、CVMのアンケート調査と同時に、現在の河川への来訪頻度と事業実施後の河川への来訪頻度について質問を行い定量した。

### (3) インパクト評価

インパクトには温暖化、オゾン層破壊、酸性雨等様々なものがあるが、本論文では、温暖化の要因項目である二酸化炭素を評価項目とし、次式により評価した。

$$\text{インパクト} = \frac{\Sigma(\text{建設時} + \text{運用時CO}_2\text{排出量})}{\text{耐用年数}} \quad (2)$$

耐用年数は構造物を45年、機械設備を15年、消耗材(直接浄化のろ材)を15年とした。

### (4) コスト評価

コストは次式により評価した。なお、耐用年数はインパクト評価と同様とした。

$$\text{コスト} = \frac{\Sigma(\text{建設時} + \text{運用時コスト})}{\text{耐用年数}} \quad (3)$$

## 4. 河川環境改善事業のパフォーマンス評価

### (1) 事業実施後の河川環境のシミュレーション方法

上述した各事業を実施した場合の河川の流速、水質、流量をシミュレーション解析により予測した。

対象河川の上流部付近では、幹線道路や鉄道があるため住宅が極めて少ない区間があり、この区間では、河川沿いにフェンスが張られ、人が近づけない状態である。そのため、この区間を除いた河川下流端から上流へ3.7kmの範囲を効果予測評価の対象区間とした。現況の河川流況、水質については、2000年10月に行った水質調査の結果を用いた。

#### a) 流速の変化予測

河川を1区間100mで計37区間に区切り、各地点の流速を不等流解析(標準逐次計算法)により算出した(式(4))。考慮する損失は、摩擦損失、流入損失とした。なお、直接浄化事業、護岸整備事業については、流速は変化しないものとし、評価の際には、現況の流速の値を用いた。流速の予測結果を図-4に示す。

$$\begin{aligned} \Delta x \cdot S_0 + y_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} - h_{f1} \\ = \Delta x \cdot S_0 + y_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + h_{f2} \end{aligned} \quad (4)$$

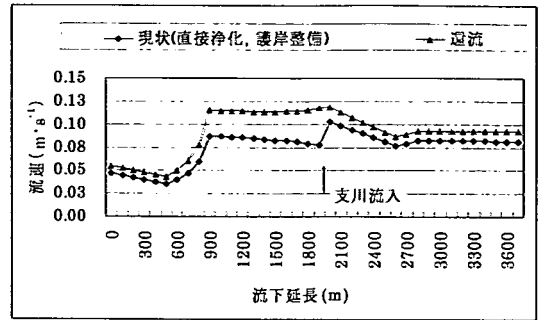


図-4 事業実施後の流速

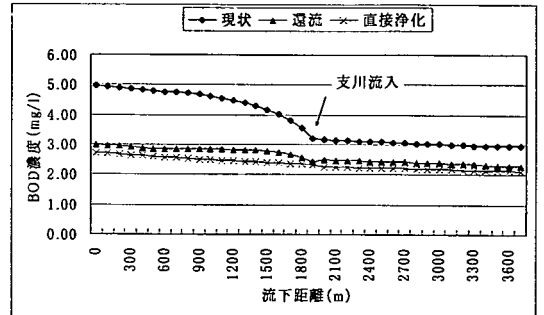


図-5 事業実施後のBOD濃度

ここに添字1, 2はそれぞれ上流および下流を表す。

$\Delta x$ : 上流断面から下流断面までの水路底長さ(L)

$S_0$ : 水路底の勾配  $y$ : 水深(L)

$\alpha$ : 流速分布に関するエネルギー補正係数(=1.1)

$V$ : 流速( $L^3 \cdot T^{-1}$ )  $g$ : 重力加速度(= $9.8L \cdot T^{-2}$ ),

$h_f$ : 損失水頭(L)

還流事業では各地点の流速が現状に比べ13%~51%増加して、 $0.04 \sim 0.12 m \cdot s^{-1}$ になる。上流端より1.9kmの地点で流速が変化しているのはその地点に支川が流入しているためである。

#### b) 水質の変化予測

流下負荷量の算出には移流・拡散に加え、底泥の巻上げによる負荷量、自然浄化、支川からの流入負荷量を考慮し計算を行った。基礎式を式(5)に示す。各事業の予測結果を図-5に示す。

$$\begin{aligned} \frac{dV_i \cdot C_i}{dt} = & Q_{i-1,i} \cdot C_{i-1} - Q_{i,i+1} \cdot C_i + D \frac{A_{i-1,i}}{L_{i-1,i}} (C_{i-1} - C_i) \\ & - D \frac{A_{i,i+1}}{L_{i,i+1}} (C_i - C_{i+1}) + J \cdot dx - K \cdot C_i \\ & + \text{支川流入負荷量} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、ボックスi-1はボックスiの上流側、ボックスi+1はボックスiの下流側のボックスをさす。

$Q_{i-1,i}$ : ボックスi-1からiへの流量( $L^3 T^{-1}$ )、 $V$ : ボックス体積( $L^3$ )、 $A$ : 断面積( $L^2$ )、 $K$ : 浄化係数( $T^{-1}$ )、 $D$ : 混合拡散係数( $L^2 T^{-1}$ )、 $C_i$ : ボックス

濃度 (ML<sup>-3</sup>),  $J$ : 流下方向長さ当たりの巻き上げ量 (ML<sup>-1</sup>T<sup>-1</sup>)

拡散係数について, 合田は台形水路で  $D=0.25\sim 0.40\text{m}^2/\text{s}$  としており<sup>13)</sup>, 本研究では  $D=0.25$  とした. 浄化係数は実測値より  $K=0.05$  とした.

各ボックスでの巻き上げによる負荷量については, 高尾が, 平常時には比較的水量が少ない汚水が流れている水路において, 大流量が生じたときの河床汚濁物質の巻き上げ量を表すモデル<sup>14)</sup>として次の式(6)を用いた.

$$J = k \cdot Q^\alpha \cdot \delta^\beta \quad (6)$$

$J$ : 流下方向長さ当たりの巻き上げ量 (ML<sup>-1</sup>T<sup>-1</sup>)

$\delta$ : 流下方向長さ当たり (汚濁物) の現在量 (M)

$Q$ : 流出水量 (L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>),  $k, \alpha, \beta$ : 係数である.

高尾による河床汚濁物質の巻き上げの研究によると,  $k, \alpha, \beta$ の値はそれぞれ  $1.0 \times 10^{-6} \sim 4.0 \times 10^{-5}$ , 1.5, 0~2 としており, 本研究の対象河川も, 平常時の流量が少ないことから  $k = 1.0 \times 10^{-6}$ ,  $\alpha = 1.5$ ,  $\beta = 1$  とした. 流下方向長さあたり (汚濁物) の現在量は, 以下の式(7)で求めた.

$$\delta = \text{SED} \cdot B \cdot \text{CCSED} \cdot \frac{5}{8} \quad (7)$$

SED: 流下方向単位長さあたりの底泥量 (ML<sup>-2</sup>), B: 河川の幅 (L), CCSED: 底泥調査結果 COD (MM<sup>-1</sup>)  
SED=3.35, CCSED=0.57, Bは, 実測値により設定した. 本研究では, BOD濃度を予測するが, BODの底泥調査結果が得られていないため, 本対象河川の4地点で実施した水質調査結果より, CODとBODの水質比が8:5であったため, ここでは, CODの結果に5/8を乗じて底泥中のBOD濃度として代用した. 還流事業については, 処理水の還流により栄養塩類が増えるのは一般的であるが, 今後浄化技術の向上とともに栄養塩類の除去技術が上がるため, ここでは, 栄養塩類増加による影響は考慮していない.

## (2) 事業実施後の河川環境のシミュレーション結果

### a) 直接浄化事業

河川全体で BOD 濃度は  $2.5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  以下となっており, この数値は環境基準の B 類型を満たす値となっている.

### b) 還流事業

現状と比較すると支川との合流付近の流下距離 2,000m 地点以降では, 水質改善効果は小さくなるが, それ以前の地点では BOD 濃度約  $2.0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  程度の改善がみられた. 河川全域の平均値をとると, BOD 濃度約  $1.0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  程度の水質の改善である.

### c) 護岸整備事業

護岸整備事業では, 事業を行っても水質は変化しないため, 評価には現状水質の値を用いた.

## (3) WTP と河川への来訪頻度の増加量

### a) アンケート調査の概要

A 川の両岸 500m 以内に居住している住民を対象に 2000 年 10 月下旬から 11 月下旬にかけて, アンケート調査を行った. 調査方法は, 直接訪問形式を用いた. 有効回答数は 310 件である. 質問方式は支払いカード方式を用いた. なお, 事業は住民からの基金にて行う旨も併せて説明した.

支払カード方式を用いるにあたり, 回答者がより幅広い選択ができるように一度ある金額を提示し, その事業計画に賛成かそうでないかを質問し, 賛成ならばより高い金額の選択肢を, 賛成でないならば提示金額より低い金額の選択肢を提示し, 金額の選択範囲の幅を広げた. 示した金額を表-2 に示す.

アンケート調査の各事業の説明文を以下に示す.

#### 1) 直接浄化

水質をよくする一つの方法です. 水辺の岩や石の表面に付着している微生物 (バクテリア) の浄化能力を利用して人工的に自然の浄化作用を作り出し, 水をきれいにするものです.

#### 2) 還流

下流部にある下水処理場より, きれいになった水をポンプで上流へ運び, 再び川へ戻す (還流事業) というものです. この事業を行うことにより, 水量を増やし川の流れを作り出し, 川の水質が改善されます.

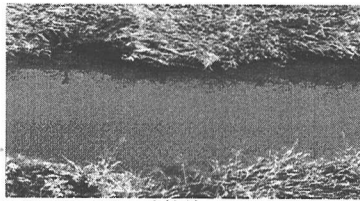
#### 3) 護岸整備

A 川をより親しみやすい水辺空間にするために, 下のイメージのような水辺に近づきやすく, そして生物 (魚, 昆虫等) が生息できるようにするものです.

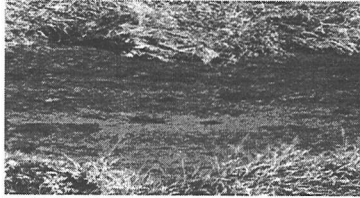
### b) イメージ写真の作成

イメージ写真の出来具合が結果に大きく影響をあたえるため, 事業後のイメージ写真作成では以下の点について特に留意した.

- ① 事業を行うことによる変化がわかりやすい特殊な場所の写真を使うのではなく, A 川のどの地点でも見られるような景観の写真を用いる.
- ② 還流事業, 直接浄化事業においては, 流況, 水質の変化が中心になるため, 水面をクローズアップした写真を用いる (図-6, 図-7).
- ③ 護岸整備事業においては, 護岸の変化がアンケート回答者に理解されやすくするため, 河川全体を写した写真を用いる (図-8).

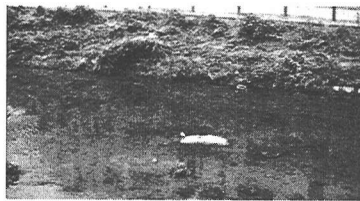


改善前

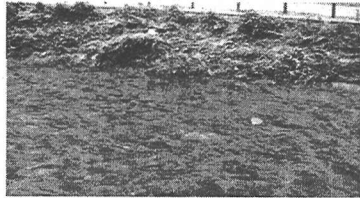


改善後

図-6 直接浄化事業



改善前

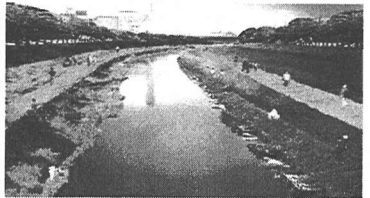


改善後

図-7 還流事業



改善前



改善後

図-8 護岸整備事業

- ④ 事業実施後のイメージ写真では、水質、流速のシミュレーション結果に基づく状況を設定する。
- ⑤ 事業実施後の写真の基本となる画像は、A川から上記の設定に近い場所の写真を使用し、A川において、設定値に近い場所がない場合は、河川状況が類似している河川の写真を使用する。
- ⑥ 還流事業では、流況、特に流速が変化すると考え、A川の流速  $0.094 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、水質  $3.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  地点での水面写真を用いた。水質の設定値を満たすため、写真に透明感を出し、流れのある水面の形状を維持しつつ、水の透明度をあげるようにした。水質向上に伴う透明感の向上については、対象河川と類似した河川形状の BOD 濃度と透視度<sup>15)</sup>をもとに関係式を求め、相関係数はやや低いが本研究ではこの関係式から設定した(図-9)。
- ⑦ 直接浄化事業では、A川において水質の設定値を満たす場所は存在しない。そこで、他の河川で設定値を満たしている場所(水質  $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、流速)の水面写真をもとにした。
- ⑧ イメージ写真に用いる設定値は各地点でのシミュレーション結果の平均値とした(表-3)。
- ⑨ 護岸整備事業では、流況に関しては変化しないと、事業実施前と同様とする。護岸は創出される環境と同質の河川の護岸状況をもとにした。
- ⑩ イメージ写真の作成においては、変化する状況以外は、事業実施前後で、同一になるようする。事業実施前(現況)の写真と事業実施後(解析をもとにしたイメージ)の写真を図-6~図-8に示す。
- c) WTPの算出

各事業の WTP の結果を図-10に示す。この結果から直接浄化事業に対する WTP が  $220 \text{ 円}\cdot\text{月}^{-1}\cdot\text{世帯}^{-1}$  と最も高く、ついで護岸整備事業の  $150 \text{ 円}\cdot\text{月}^{-1}\cdot\text{世帯}^{-1}$ 、還流事業の  $120 \text{ 円}\cdot\text{月}^{-1}\cdot\text{世帯}^{-1}$  となる。

表-2 アンケートに用いた提示金額

提示金額の範囲(円/月;支払い期間:30年)				
0	50	100	150	200
300	400	500	800	1,000
1,500	2,000	3,000	5,000	5,000以上

表-3 イメージ写真に用いた設定値

	水質(BOD(mg·L <sup>-1</sup> ))	流速(m·s <sup>-1</sup> )
直接浄化事業	2.4	0.075
還流事業	2.6	0.092
護岸整備事業	3.8	0.075

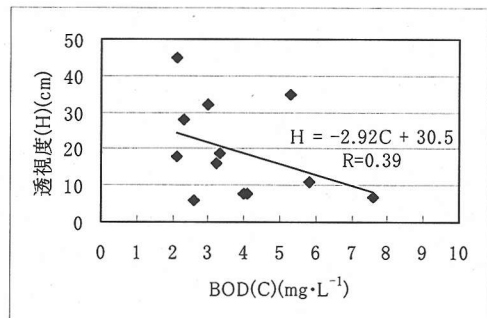


図-9 透視度と BOD の関係

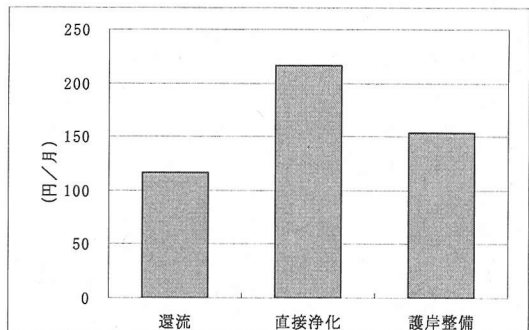


図-10 各事業の支払い意志額

図-3で示したように、住民は水をきれいにすることを最も望んでいることから、水質浄化を主目的と

する直接浄化事業の WTP が最も高くなっている。

次に、緑豊かな水辺にすることや、河原の公園や散歩道を整備することが望まれている(図-3)ことから、親しみやすい水辺を創出することを主目的としている護岸整備事業の WTP が二番目に高くなっている。

三番目に、水の流れを今よりよくすることが望まれている(図-3)ことから、水量を増やし川の流れを作り出すことを主目的としている還流事業の順になっている。この結果から還流事業は水質改善、流量増加の両面の対策ではあるが、それが住民に十分理解されていない可能性はある。

今回の調査により WTP の値と以前調査した住民の望んでいる環境改善項目がほぼ同様の傾向を示していることから、イメージ写真を用いることで、アンケート回答者により事業のイメージを具体的に伝えることができ、より正確な事業価値が測れたと評価できる。

#### d) 来訪頻度の増加量の算出

現在の河川への来訪頻度と事業実施後の予想される来訪頻度を質問した。アンケート調査の概要は 3.4 と同様である。得られた結果を図-11 に示す。

各事業において、来訪頻度に回答者数を乗じ、総回答者数で除したものを年間一人当たりの平均来訪回数とし、現在と事業実施後のこれらの差を来訪頻度増加量とした。

還流事業では 27.8 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> 来訪頻度が増加する。直接浄化事業では、還流事業のときよりやや少ない 23.4 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> となる。護岸整備事業では、45.9 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> と他の二つの事業と比較しても明らかに来訪頻度が多くなる。

護岸整備事業では、散歩道や親水施設等が整備されることから、住民は河川空間を利用しやすくなり、事業により直接的利用価値が高まる。

一方、直接浄化事業、還流事業では、河川環境は改善されるものの、住民への直接的な便益は生じない。すなわちこれら事業は間接的な利用価値を高めるだけである。このことが、護岸整備事業の来訪頻度増加量が他事業よりも高くなった要因と考える。

しかし、WTP では直接浄化事業が最も高く評価されており、WTP と来訪頻度量には異なる傾向がある。

この要因は、両評価指標に関与する対象環境に対する価値が違うことである。来訪頻度の増加に関与しているのは対象環境の利用価値であり、WTP 評価には利用価値に加え非利用価値(ここでは存在価値)が関与していると考えられる。

住民は来訪頻度という現実的な指標に対しては、具体的な利用価値によって評価を行い、WTP という

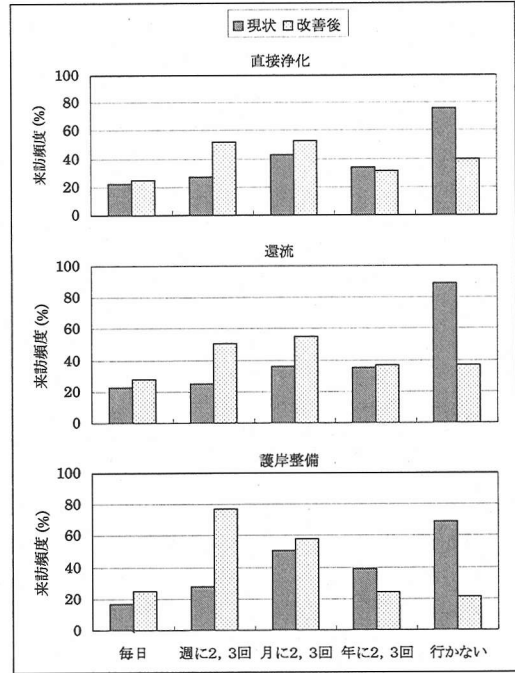


図-11 現状と改善後の来訪頻度の比較

表-4 評価範囲

	建設時	運用時
還流	還流用管渠の建設 ポンプ施設の建設	ポンプ施設の製造・運用
直接浄化	直接浄化施設本体、施設機器設備にかかる建設費	光熱費・諸経費、清掃費・人件費
護岸整備	護岸建設資材量、使用機械量及び人件費	堤防除草工にかかる使用機械量及び人件費

非現実(実際の支払いを伴わない)的な指標に対しては、生態系の健全性といった領域まで範囲を広げて評価していると判断できる。

## 5. 河川環境改善事業の環境負荷

### (1) ライフサイクル環境負荷の算出方法

#### a) 評価項目および範囲

環境改善事業の環境負荷算出時の評価範囲は、表-4 に示す通りである。環境負荷項目については CO<sub>2</sub> 排出量とした。

#### b) 還流事業にかかる環境負荷

管渠の CO<sub>2</sub> 排出量<sup>16)</sup>、<sup>17)</sup>は管渠径に比例すると仮定した。これより、管渠の建設における CO<sub>2</sub> 排出量は、設定した管渠径及び管渠延長に応じて算出した。

還流用ポンプ施設の建設時の CO<sub>2</sub> 排出量は、ポンプ施設の建設時 CO<sub>2</sub> 排出量<sup>16)</sup>、<sup>17)</sup>と後述の建設コストの関係から算出した。また、ポンプ施設の運用時



CO<sub>2</sub> 排出量については、ポンプ台数に比例すると仮定して算出した。高度処理については既に導入されているものとし、評価範囲とはしていない。

### c) 直接浄化事業にかかる環境負荷

建設時の CO<sub>2</sub> 排出量については、本研究と同じ処理方法を用いている富雄川浄化処理施設の資材量のデータを建設省大和川工事事務所にヒアリングし、使用した資材量に CO<sub>2</sub> 原単位<sup>18)</sup>を乗じて算出した。また、運用時の CO<sub>2</sub> 排出量については、後述の光熱費・諸経費がすべて電力消費にかかるものと仮定し、CO<sub>2</sub> 原単位<sup>18)</sup>を乗じて算出した。

### d) 護岸整備事業にかかる環境負荷

建設資材量、使用機械量に各 CO<sub>2</sub> 原単位<sup>18)</sup>を乗じ、護岸の建設及び運用にかかる CO<sub>2</sub> 排出量を積上方式で算出した。ただし、仮設工については、環境負荷を算出していないが、後述の仮設に伴うコスト(本工事費の 0.2 倍)から、環境負荷も本工事費と仮設費の比率 0.2 倍と設定し計上した。使用機械の CO<sub>2</sub> 排出量については、機械運転時にかかる燃料消費量に CO<sub>2</sub> 原単位<sup>18)</sup>を乗じて算出した。

## (2) ライフサイクル環境負荷の算出結果

環境負荷の算出結果をそれぞれの耐用年数で除し、1 年間にかかる CO<sub>2</sub> 排出量を算出したものを図-12 に示す。還流事業が最も多く 940t-CO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>、次いで護岸整備事業 190 t-CO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>、直接浄化事業 129 t-CO<sub>2</sub>・年<sup>-1</sup>の順となる。建設時、運用時の CO<sub>2</sub> 排出量はともに還流事業が最も大きな値となる。

## (3) ライフサイクルコストの算出方法

### a) コスト算出の考え方及び評価範囲

各事業の運用時のコストについては、耐用期間中毎年コストがかかることから、費用効果分析で用いられる総現在価値を算出した。総現在価値の算出方法を式(6)に示す。

$$C_5 = \sum C_i / (1+r)^{j-1} \quad (8)$$

C<sub>5</sub>: 総現在価値, j: 年度, r: 割引率

年度については耐用年数を用い、割引率は社会資本整備に必要な資金調達コストの近年の実質平均値を勘案して 4.0%と設定した<sup>19)</sup>。

### b) 還流事業にかかるコスト

管渠の建設には工法として開削工法を用い、土破り 4m 以下とした。コストについては、管渠建設およびポンプ施設の建設、運用ともに流域別下水道整備総合計画調査指針と解説(H.8 年版)<sup>20)</sup>に示されるそれぞれの費用関数を用いて算出した。

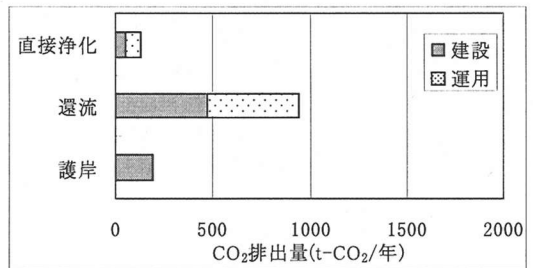


図-12 各事業の CO<sub>2</sub> 排出量

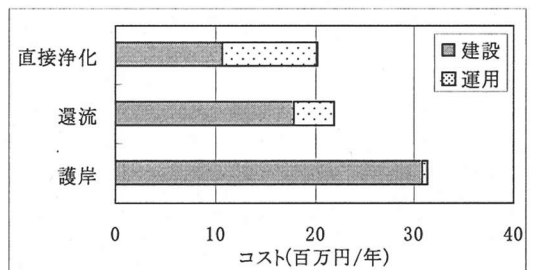


図-13 各事業のコスト

### c) 直接浄化事業にかかるコスト

直接浄化施設のコストの算出については、建設費は式(7)に示す費用関数<sup>9)</sup>を用いて算出し、運用費については A 川と処理水量が同等である石神井川の音無橋浄化施設<sup>9)</sup>の光熱費・諸経費、清掃費・人件費を使用した。

$$Y = 5.5 \cdot X^{0.47} \quad (9)$$

ここで、Y: 直接浄化施設の建設費(百万円)

X: 接触槽容量(m<sup>3</sup>)

### d) 護岸整備事業にかかるコスト

多自然型木目砕工<sup>21)</sup>を参照し、平成 10 年度版土木工事積算基準マニュアル、平成 11 年度版建設省土木工事積算基準<sup>21)</sup>、<sup>22)</sup>をもとに、工種毎に必要な建設資材量、使用機械量及び人件費を算出し、それにそれぞれ単価を乗じコストを算出した。ただし、仮設工等については、本対象河川と同規模の河川工事における仮設費を設計業者に見積もりなどをした結果、仮設の材料、種類、方法、段階等によって、その費用は種々変わるため、本工事費の 0.15 倍~0.8 倍となった。そのため、本研究では、コスト低減が社会の基本となっているため、仮設費をできるだけ低く抑え、本工事の 0.2 倍と設定し、計上した。また、運用のコストについては、堤防除草工をもとに使用機械量及び人件費を算出した。

## (4) ライフサイクルコストの算出結果

算出結果を図-13 に示す。護岸整備事業が最も高く 31 百万円・年<sup>-1</sup>、次いで還流事業 22 百万円・年<sup>-1</sup>、



直接浄化事業 20 百万円・年<sup>-1</sup>の順となる。

還流事業は、管渠敷設延長が短いこと及び開削工法を採用していることから、建設費は護岸整備事業と比べて安い。

直接浄化事業は、建設費は 11 百万円・年<sup>-1</sup>と最も安い。運用費は汚泥処理があることから 9 百万円・年<sup>-1</sup>と建設費とあまり差がない。

護岸整備事業のコストのほとんどは建設にかかる費用であり、区間延長が長い(1,700m×2(両岸))ため、建設費は最も高い。運用は堤防除草工にかかる使用機械と人件費だけであり、堤防除草工は年 1 回行えば良いため、運用時のコストは 0.6 百万円・年<sup>-1</sup>と非常に小さい。

## 6. 環境効率評価

### (1) 環境効率指標の算出

環境効率を評価する際の「住民満足度」(パフォーマンス)は、総合的に評価するために、支払い意思額の相対評価値と来訪頻度増加量の相対評価値の積にて表現することとした。また、指標の相対化にあたり、直接浄化事業を基準とし、直接浄化事業の相対評価値を 1.0 として、各事業を評価した。

### (2) 環境効率指標の算出結果

各事業の各項目(パフォーマンス、環境負荷、コスト)の相対評価値を図-14、15に、環境効率指標値を図-16に示す。

いずれの相対評価値(WTP、来訪頻度、環境負荷、コスト)においても数値が高いほど評価が高いことを意味する。

直接浄化事業は来訪頻度の相対評価値では還流事業(1.19)、護岸整備事業(1.96)よりも低いが、環境負荷の相対評価値では還流事業が 0.14、護岸整備が 0.68、またコストの相対評価値でも還流事業が 0.93、護岸整備が 0.65 に対して護岸は 1.00 と最も高い。

また、直接浄化事業は WTP の相対評価においても最も高く、今回の設定条件では、3つの事業のうち、最も環境効率指標値が高い。したがって、直接浄化事業は経済的、環境的にすぐれた事業である。

還流事業は送水管の敷設やポンプ施設の建設など、事業実施にあたり高いコストと多くの環境負荷が生じ、また運用に伴う環境負荷が他事業よりも高い。今回の設定条件では、これらのコスト、環境負荷を上回る住民満足度を得られなかった。これは、住民の下水処理水への認識が低いこと、水資源有効利用の観点からの評価の欠如が大きく影響していると考

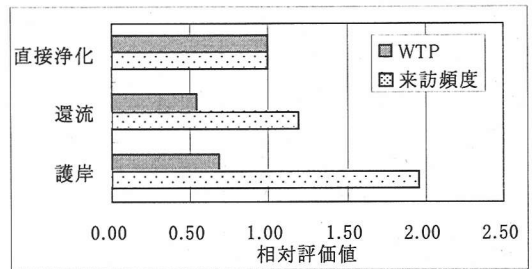


図-14 住民満足度の相対評価値

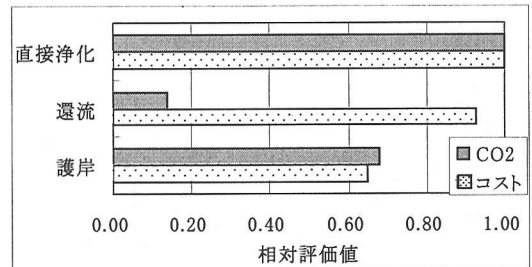


図-15 環境負荷とコストの相対評価値

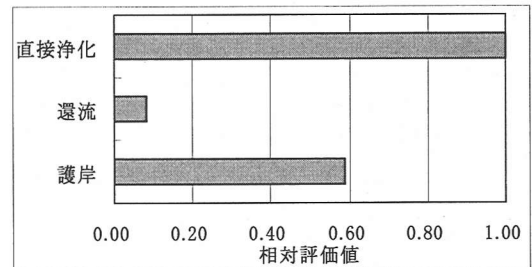


図-16 環境効率指標値の比較

えられる。現在、水資源の枯渇、水循環の再生が問題となっていることから、下水処理水の再利用は注目されており、処理水還流事業が経済効率に優れ、環境調和の高い事業になるためには、コスト、環境負荷の削減と共に、下水処理水、処理水再利用への認識を高めていく必要がある。

護岸整備事業は護岸整備事業が都市の中の憩いの場として認められ、整備されれば、住民の来訪頻度は増加するが、住民意識として、公共事業は要望すれば、直接、自分で負担することなく行ってくれるものという認識が強いためと考えられる。

## 7. 結論

本論文では都市内河川の環境改善事業(下水処理水還流事業、直接浄化事業、護岸整備事業)を環境効率から評価した。河川周辺住民の満足度として、事業に対する住民の支払い意思額(WTP)と来訪頻度の増加量を定量評価した。また、事業実施に伴う

CO<sub>2</sub> 排出量、コストを定量評価し、これら評価項目から環境効率評価を行った。ここで、事業に対する住民の WTP を算出するにあたり、アンケート回答者の事業に対するイメージを統一するため、イメージ写真を用いた CVM を行った。

得られた知見を以下に示す。

- ① 各事業の WTP の結果は、直接浄化事業が 220 円・月<sup>-1</sup>・世帯<sup>-1</sup> と最も高く、ついで護岸整備事業の 150 円・月<sup>-1</sup>・世帯<sup>-1</sup>、還流事業の 120 円・月<sup>-1</sup>・世帯<sup>-1</sup> となった。
- ② WTP の結果は、アンケート調査で明らかにされた「河川環境の改善してほしい点」の結果と同様の傾向を示しており、算出した WTP は妥当な結果であると考えられる。これより、シミュレーション結果に基づくイメージ写真の適用は、アンケート回答者に、より事業のイメージを具体的に伝えることができる有意な手法であるといえる。
- ③ 来訪頻度の増加量の結果は、護岸整備事業で 45.9 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> と最も多く、次いで還流事業で 27.8 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup>、直接浄化事業で 23.4 回・年<sup>-1</sup>・人<sup>-1</sup> となる。護岸整備事業は、散歩道や親水施設等を整備することから、他の事業よりも、直接的に事業による便益を享受することができる。そのため、住民の河川に対する利用価値が増加し、来訪頻度の増加につながったと考える。
- ④ 直接浄化事業の WTP に関する相対評価値が来訪頻度の相対評価値よりも高く評価されたことにより、住民は河川の利用という観点ではなく、河川の環境、存在という観点から事業評価を行っている判断できる。
- ⑤ 環境効率評価に関して、今回の設定条件、指標では、直接浄化事業が他の事業より環境効率が高く評価された。還流事業、護岸整備事業は、事業実施に伴う環境負荷、コストが直接浄化事業より高く、これらの差を埋め合わせできるまでの住民満足度 (WTP/来訪頻度増加量) が得られなかったことによる。
- ⑥ 護岸整備事業の来訪頻度増加量の相対評価値は直接浄化事業の約 2 倍であるが、WTP の相対評価値は約 7 割程度と護岸整備が行われれば、河川を訪問するが、支払い意志額は直接浄化事業よりも低いという結果になっている。これは、WTP と来訪頻度増加量の両指標では関与する対象環境に対する価値が違うためである。来訪頻度の増加に関与しているのは対象環境の利用価値であり、WTP 評価には利用価値に加え、存在価値が関与していると考えられる。住民は来訪頻度という現実的な指標に対しては、具体的な利用価値によって評価を行い、WTP という非現実 (実際の支払いを伴わない) 的な指標に対しては、生態系の健全性といった領域まで範囲を広げて評価していると判断できる。

今回の論文で得られた成果をよりまとめると次のようになる。

今回導入した具体的な事業効果をイメージ写真に

て表現したアンケート調査は住民満足度の調査に対して有効な手法である。

河川環境改善事業に対する住民の評価、環境へのインパクト、コスト等を定量評価した。

ここで、環境効率評価は、単純な相対評価値で検討しているが、各評価項目(パフォーマンス、コスト、環境負荷)の重み付け等、今後も検討の余地はある。また、事業の効果や便益、住民満足度、地球環境への負荷において、今回対象とした水質、流速、CO<sub>2</sub> 排出量等の項目以外にも、考えられる様々な項目に対し、可能な限り評価に組み込む必要がある。

本論文では環境効率評価を河川環境改善事業に適用し、総合的に事業評価を行った。その結果、今回の条件では河川直接浄化手法が最も環境効率指標値が高く優れた事業であった。これからの公共事業に対しては今回行った環境効率のように総合的に評価する必要があり、その積み重ねが重要である。

公共事業に対する環境効率評価の適用例は事例が少なく、本論文で示したように環境効率評価は事業に対する影響を統合化して評価できることから、持続可能な社会システム構築に向けて有効な評価手法となりうると考えている。

謝辞：本研究の遂行にあたり、アンケートにご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。アンケート調査・解析においては、石田茂和氏、中嶋宜信氏をはじめとする環境システム研究室生の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 地球温暖化対策推進本部：地球温暖化対策推進大綱、環境省 HP、<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/taiko/all.pdf>, 2002.3
- 2) Livio D.DeSimon and Frank Popoff, 山本良一監訳：エコ・エフィシエンシーへの挑戦, 11-38, 日科技連, 1998.
- 3) 多田律夫, 三浦浩之, 和田安彦, 尾崎平：河川水環境改善手法のエコ・エフィシエンシー評価, 土木学会環境システム研究, 27, 247-253, 1999.
- 4) 栗山/浩一：環境の価値と評価手法, 57-94, 北海道大学図書刊行会, 1998.
- 5) 高木朗義, 大野栄治：水質浄化事業による環境改善便益の計測, 環境システム研究論文集, 27, 1-8, 1999.
- 6) 田口誠, 盛岡通, 藤田壮：矢作川における環境整備にともなう受益構造と費用負担の公平性問題, 環境システム研究論文集, 28, 459-465, 2000.
- 7) 渡邊雅巳, 三浦浩之, 和田安彦：都市内河川の環境に対する流域住民の意識・評価に関する研究, 平成 12 年度土木学会関西支部年次学術講演会, VII-1, 1-2, 2000.
- 8) 土屋十園：都市河川の総合親水計画, 191-215, 信山社サイテック, 1999.
- 9) 長内武逸：隣間接触酸化法による河川水質の直接浄化, 水と廃水, 38(8), 26-31, 1990.
- 10) 渡辺吉男：汚濁河川, 水路の直接浄化技術, 水と廃水, 40(10), 58-63, 1998.

- 11) infoBIWA, 滋賀の下水道,  
<http://www.biwa.ne.jp/~kawasima/mamoru/gesui/gesui.html>.
- 12) 株式会社ホクコンホームページ, ホクコン情報シリーズ'97-vol.2, <http://www.hokukon.co.jp/>.
- 13) 合田健: 水質環境科学, 311-343, 丸善, 1985.
- 14) 高尾克樹: 河床に存在する汚濁物質の巻き上げ流出, 用水と排水, 23(5), 555-557, 1981.
- 15) 神戸市環境局: 平成 11 年度環境水質, pp.162-163, 2000.
- 16) 井村秀文・銭谷賢治・中嶋芳紀・森下兼年・池田秀昭: 下水道システムのライフサイクルアセスメント: LCE 及び LC-CO<sub>2</sub> による評価, 土木学会論文集, No.552, 75-84, 1996.
- 17) 三浦浩之, 和田安彦, 多田律夫, 尾崎平: 下水処理水還流システムの環境調和性に関する研究, 土木学会論文集, No.629/VII-12, 57-66, 1998.
- 18) LCA 実務入門編集委員会: LCA 実務入門, CD-ROM データベース, 社団法人 産業環境管理協会, 1998.
- 19) 建設省: 「社会資本整備に係る費用対効果分析に関する統一運用方針」の策定について, <http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/policy/bbyc/shishin.htm>, 1999.3
- 20) (社)日本下水道協会流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 107-115, 日本下水道協会, 1997.
- 21) 建設大臣官房技術調査室: 平成 10 年度版土木工事積算基準マニュアル, 建設物価調査会, 1998.
- 22) 建設大臣官房技術調査室: 平成 11 年度版建設省土木工事積算基準, 建設物価調査会, 1999.

(2002. 5. 20 受付)

## EVALUATION OF THE PUBLIC WORKS FOR ENVIRONMENT IMPROVEMENT OF THE URBAN RIVER BY ECO-EFFICIENCY INDEX

Taira OZAKI, Hiroyuki MIURA, Yasuhiko WADA and Masami WATANABE

We have evaluated three public works for environmental improvement of the urban river by "Eco-efficiency". The "Eco-efficiency" is evaluated with four factors. They are willingness to pay, increase amount of visit, environmental loads and cost of the project. In order to uniform inhabitant's images about these environmental improvement project, we showed photomontage of the future urban river condition after implementation of the project. Using the photomontage, we researched WTP and increase of frequency of visit. And we estimated life cycle cost and life cycle CO<sub>2</sub> of the projects. As a result, the construction of the river water direct purification system had the best "Eco-efficiency".