

# 環境用水の評価手法について

## EVALUATION METHOD OF ENVIRONMENTAL WATER

研究第三部 主任研究員 高崎 忠勝  
 リバーフロント研究所長 京才 俊則  
 研究第三部 主任研究員 中川 芳一  
 研究第三部 主任研究員 大手 俊治

近年、水質浄化、親水空間の創出、修景等の水辺環境改善へのニーズが高まっている。流水の涸れた小河川や水路への他河川からの環境用水の導入はこうした目的に対して有効な手法であるが、その効果を簡易に評価する手法がなかったために、事業効果の的確な把握が困難であった。事業の透明性や効率性を確保する点から、環境用水の効果を簡易かつ定量的に評価する方法が求められている。

本稿は、環境用水による水環境の改善や地域への影響を評価する方法を提案するものである。

河川・水路の機能や地域の特性を基準や統計データ等をもとに点数化を行い、環境用水の導入による機能の向上や評価地点の水理特性等の違いによる環境用水導入による影響の違いを表すことができた。

本手法を用いて利根運河の導水量を検討したところ、 $1.0\sim1.5\text{m}^3/\text{s}$ の範囲が適当であると判断できた。

**キーワード：環境用水、地域特性、定量的評価**

Recently, needs for the improvement of riverfront environment such as water quality purification, creation of water-affinity space, scenery improvement. For that purpose, introduction of environmental water from another river into dried up small rivers or water channels is effective, but in the absence of a method for quantitatively evaluating the effect accurately, it was difficult to correctly grasp the effect of the business. The method of evaluating the effect of environmental water simply and quantitatively is called for from the view point of securing the transparency and the efficiency of the business.

This text proposes the method of evaluating the improvement of the water environment with environmental water and of evaluating the influence on the region.

The characteristic in the function of the river, waterway and region was put into numerical data based on the standard and the statistical data, etc., and the improvements of functions by the introduction of environmental water and the difference of the influence by the environmental water introduction by the difference of the hydraulic characteristic etc. by the place of evaluation was displayed.

Quantity of water introduced into Tone Canal was examined by using this method, by which it was judged that  $1.0\sim1.5\text{ m}^3/\text{s}$  would be an appropriate quantity.

**Key Words : Environmental water, regional characteristic, and quantitative evaluation**

## 1. はじめに

従来より水質汚濁の進行した水域の水質改善を目的に浄化用水の導入が行われているが、近年、親水空間の創出や修景改善等による総合的な水辺環境の改善を目的とした環境用水の導入が行われている。

これまで、環境用水の導入効果を簡易に評価する手法がなく、事業効果の的確な把握が困難であったため、事業の透明性や効率性を確保する点から、環境用水の効果を簡易かつ定量的に評価する方法が求められている。

本稿は、利根運河への環境用水導入をケーススタディとして取り上げ、環境用水による水環境の改善や地域への影響を評価する手法について報告する。

## 2. 環境用水の機能

環境用水は、景観の改善、親水・レクリエーション空間の創出、動植物の生息・生育環境の保全、歴史的文化遺産の保護・保存等を目的として河川や水路等に水を導入するものである。こうした常時における利用に加えて、非常時には生活用水や消防用水として緊急的に活用することができる。

環境用水の導入による影響は、直接的に現れるものと、間接的に現れるものがある。直接的に現れるものには、親水機能、修景機能、水質浄化機能、生態系保全機能、水循環機能、微気候調節、輸送機能といった機能があり、これを直接的機能と定義した。間接的に現れるものには、観光機能、福祉機能、教育機能、地域機能、歴史・文化・風土機能という機能があり、これを間接的機能と定義した。直接的機能の役割について表-1に、間接的機能の役割について表-2に示した。

## 3. 地域特性

水質汚濁の進行した水域では水質改善が求められ、枯渇が危惧される水域では水量改善が求められる。地域によって求められる機能や環境用水導入が地域に与える影響は異なる。

環境用水導入が与える影響が地域によって異なる事象を、人口や施設数等の統計データを用いて点数評価した。統計データを用いたのは、全国で同じ指標のデータを収集でき、点数化が容易なことによる。

親水機能に関連する統計データは、親水を要望する人数を把握しやすい小学校数、中学校数、高校数、児童数、生徒数等である。

修景機能に関連する統計データは、都市公園等の施設数である。

水質浄化機能に関連する統計データは、BOD、SS、

表-1 直接的機能の役割

| 機能      | 主な役割                                    |
|---------|---|
| 親水機能    | 魚取り、水遊び、散策など、人を水辺(川)に近づけ、水に親しみやすくする。    |
| 修景機能    | 水辺の景観を創出する。また、ゴミ等による景観の悪化を改善する。         |
| 水質浄化機能  | 水質を向上させる。                               |
| 生態系保全機能 | 植物、動物、昆虫など川・水路およびその周辺に生息する生物の生息環境を保全する。 |
| 水循環機能   | 地下水の涵養、一時的な水の貯留、地表面からの蒸発等を通じて循環を保全する。   |
| 微気候調節機能 | 周辺の気候(温度や湿度)を調節する。                      |
| 輸送機能    | 人、モノを運ぶ(舟運)。                            |

表-2 間接的機能の役割

| 機能             | 主な役割                                      |
|----------------|---|
| 観光機能           | 観光の拠点となる。                                 |
| 環境教育機能         | 環境教育の場となる。                                |
| 福祉・ウェルネス機能     | 周辺住民にとってのやすらぎの場となる。                       |
| 地域形成機能         | 地域住民の触れ合いや連携等が行われる場の提供。                   |
| 風土・文化・歴史保存醸成機能 | 個々の機能があいまって水辺を中心とした風土・文化・歴史が保存され、また醸成される。 |

DO、COD等の水質データである。

生態系保全機能に関連する統計データは、水域に生息する生物の生息環境の増大に着目して、池沼面積等の水面積である。

観光機能に関連する統計データは、その地域の観光能力を示す観光客数である。観光能力の高い地域では、観光客が水辺環境に接する機会が多いと判断した。

環境教育機能に関連する統計データは、小学校数、中学校数、高校数、生徒数、図書館数等である。教育を受ける人数が多い地域は環境用水導入による水辺環境の改善が学習目的で使用される機会が多いと判断した。

福祉・ウェルネス機能に関連する統計データは、病院、保育施設、老人ホーム等の施設数とこれらの施設の従事者数である。

地域形成機能に関連する統計データは、公民館数、集会所数、人口増減数である。地域形成機能はその地域と人のつながりに関係し、人口増減は地域の定着率を表すと判断した。

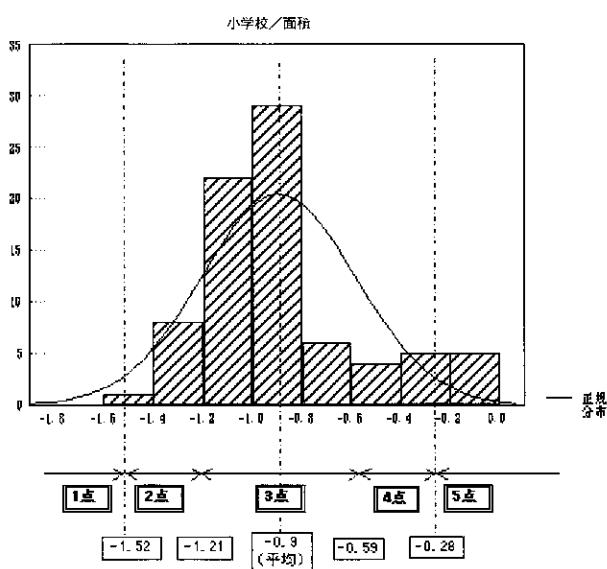


図-1 地域特性の評価例

風土・文化・歴史保存醸成機能に関する統計データは、指定文化財数、遺跡数、伝統工芸品数、博物館数等である。地域の文化財や遺跡などの数がその街の歴史・文化・風土を醸成する関心の高さを表すと判断した。

点数化の作業は、図-1に示したように評価地域データが、全データの分布に対してどこに位置するかによって1~5点の点数を付けた。

#### 4. 直接的機能

親水機能には、水量、水質、安全性等を確保する必要があるように、各直接機能には機能を発揮するための要件が必要である。環境用水の導入により制御できるのは、水量、水深、流速、水面幅、水質等の指標に限られることから、これらの指標の組み合わせによって表すことができる要件を評価する。要件の評価は、基準や文献を参考に、水深、流速、水面幅、水質といった指標を評価する関数を作成した。

水循環機能、微気候調節機能は、評価関数の作成において適当であると考える基準等を見つけることができなかったことから、評価対象から除いた。輸送機能は、船着場の施設整備や舟運の計画があること等、環境用水の導入では制御できない要件の比重が大きいため、評価対象から除いた。

直接的機能・要件・指標の関係を図-2に、指標の評価を行う評価関数を図-3に、直接機能に係る要件・指標を表-3に示した。図-3に示した評価関数は、目的に対して最適な水深、流速、水面幅、水質の範囲を1点、目的に全く適さない範囲を0点とした。

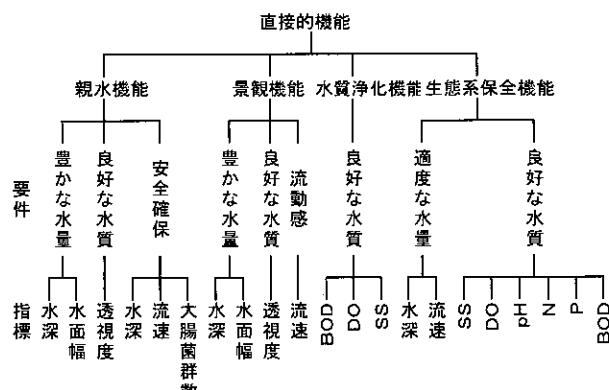


図-2 直接的機能・要件・指標の関係

表-3 一対比較の例

| 重要度:大 | 重要度:小 | 理由                      |
|-------|-------|-------------------------|
| 良好な水質 | 豊かな水量 | きれいな水でないと人が近づきにくい       |
| 豊かな水量 | 適度な水温 | 親水活動を行うのに十分な水量が欲しい      |
| 安全確保  | 豊かな水量 | 安全が確保されていないと川に近づくのをためらう |
| 豊かな水量 | 面白い   | 親水活動を行うのに十分な水量が欲しい      |
| 良好な水質 | 適度な水温 | きれいな水でないと人が近づきにくい       |
| 安全確保  | 良好な水質 | 安全が確保されていないと川に近づくのをためらう |
| 良好な水質 | 面白い   | きれいな水でないと人が近づきにくい       |
| 安全確保  | 適度な水温 | 安全が確保されていないと川に近づくのをためらう |
| 面白い   | 適度な水温 | 人に興味を抱かせるものがあった方がよい     |
| 安全確保  | 面白い   | 安全が確保されていないと川に近づくのをためらう |

評価関数の検証は評価結果において、①導水による水量増加や水質改善が水路や河川の機能向上として表されること、②同じ導水を行っても評価地点の水理特性の違いによって機能向上の仕方が異なること、の2点を確認する事とした。

親水機能については、水泳・水浴、水遊び、ポートといった形態があることから、形態毎に評価し合計を求める。また、形態の重みは世論調査を参考に、水浴0.40、水遊び0.40、ポート0.20とした。

要件の重みは、要件毎に重要度が異なると考え、一対比較法により決定した。一対比較とは2つの項目を比較し重み付けを行う方法である。表-3に一対比較の例を示した。また、指標の重みは均等とした。要件、指標の重みについて表-4に示した。

直接的機能の評価は、下記の手順で行う。

①評価断面における流量、水深、流速、水面幅、水質の関係を求める。②導水量に応じた流量、水深、流速、水面幅、水質を求める。③求めた流量、水深、流速、水面幅、水質から評価関数により指標の点数を算出する。④指標の点数と指標の重みの2項目の積を求め、要件の点数とする。⑤下記に示した式に要件の点

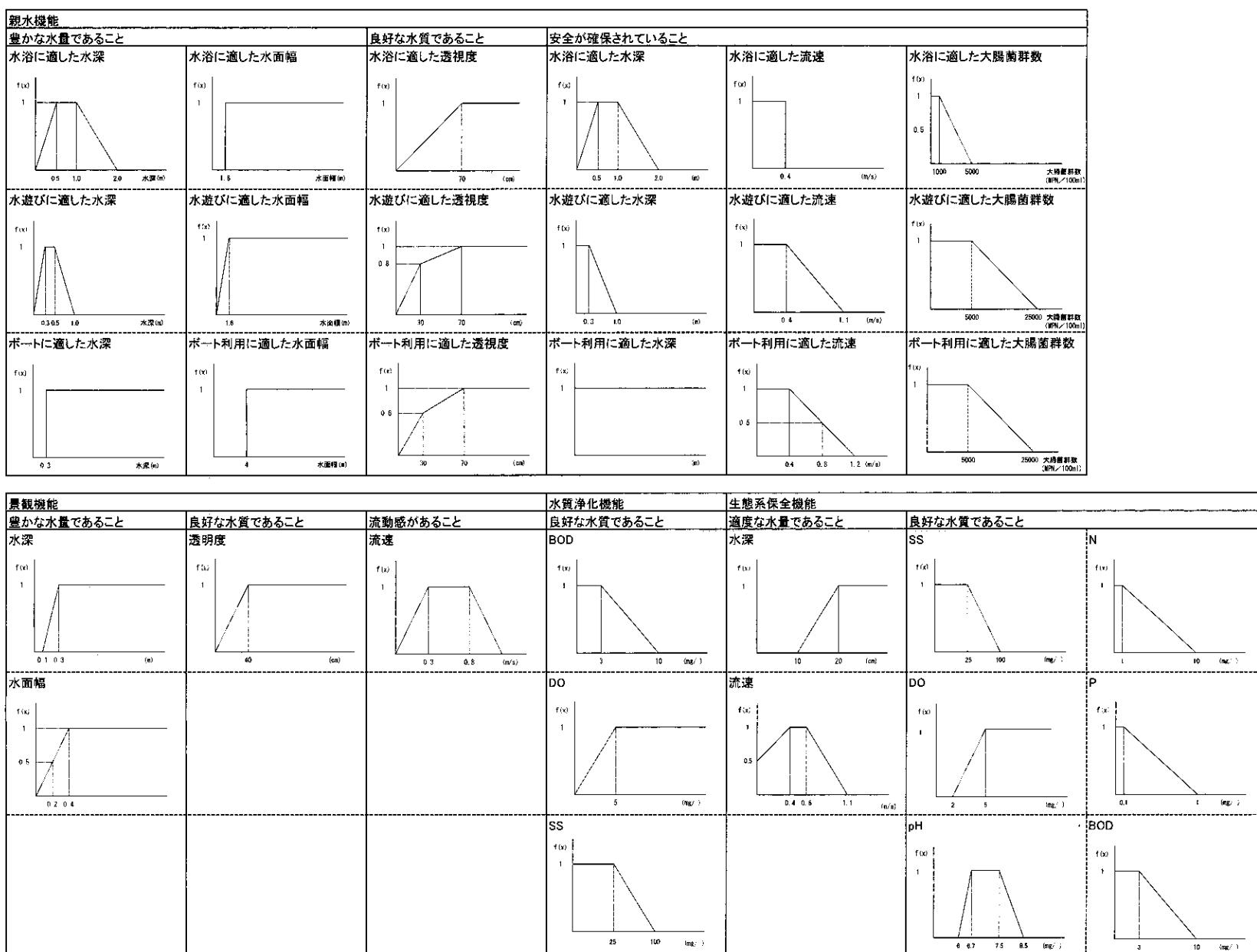


図-3 評価関数

表-4 直接機能に係る要件・指標

| 機能      | 要件    | 重み | 指標    | 重み   |
|---------|-------|----|-------|------|
| 親水機能    | 豊かな水量 | 2  | 水深    | 0.50 |
|         |       |    | 水面幅   | 0.50 |
|         | 良好な水質 | 3  | 透視度   | 1.00 |
|         | 安全確保  | 3  | 水深    | 0.33 |
|         |       |    | 水面幅   | 0.33 |
|         |       |    | 大腸菌群数 | 0.33 |
| 景観機能    | 豊かな水量 | 3  | 水深    | 0.50 |
|         |       |    | 水面幅   | 0.50 |
|         | 良好な水質 | 3  | 透視度   | 1.00 |
|         | 流動感   | 2  | 流速    | 1.00 |
| 水質浄化機能  | 良好な水質 | 1  | BOD   | 0.33 |
|         |       |    | DO    | 0.33 |
|         |       |    | SS    | 0.33 |
|         | 適度な水量 | 4  | 水深    | 0.50 |
| 生態系保全機能 | 良好な水質 | 5  | 流速    | 0.50 |
|         |       |    | SS    | 0.17 |
|         |       |    | DO    | 0.17 |
|         |       |    | pH    | 0.17 |
|         |       |    | N     | 0.17 |
|         |       |    | P     | 0.17 |
|         |       |    | BOD   | 0.17 |

数と要件の重みを代入し各機能の点数を求める。

$$\text{機能の点数} = \sqrt{a^l \times b^m \times c^n}$$

a, b, c: 要件  
l, m, n: 要件の重み

⑥各機能の点数と地域特性の点数の2項目の積を求め、補正值とする。⑦補正した各機能の点数を合計し、評価地点における導水量に対する点数とする。⑧評価地点の点数と代表延長の積を求め、評価地点が代表する延長の点数を求める。⑨全ての延長の点数を合計し、評価対象全体の点数とする。以上の作業を、導水量0から導水可能水量まで繰り返す。

## 5. 間接的機能

間接的機能は直接的機能が発揮されることにより発現する機能であることから、直接的機能の組み合わせで評価できるものと考えた。

間接的機能と直接的機能の関係を図-4に示した。

直接的機能と間接的機能の関連性は機能毎に異なると考え、一対比較により決定した。表-5に間接的機能と直接的機能の関係の重み付けを示した。

間接的機能の点数は、直接的機能の点数と地域特性の点数と機能間の関連性の3項目の積とした。直接的機能と同様に、導水量を0から導水可能水量まで変化させ計算を行う。

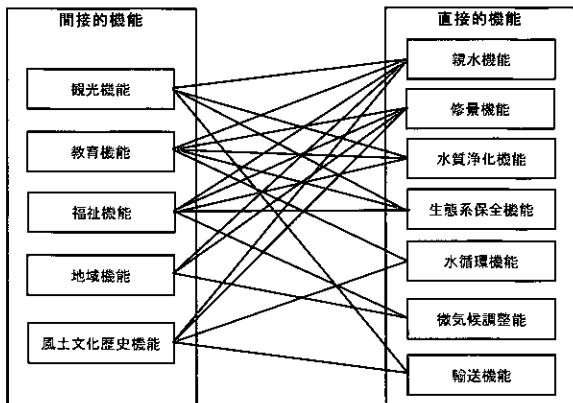


図-4 間接的機能と直接的機能の関係

表-5 関係の重み付け

|                    |         |      |
|--------------------|---------|------|
| 観光機能               | 親水機能    | 0.50 |
|                    | 水質浄化機能  | 0.17 |
|                    | 生態系保全機能 | 0.33 |
| 環境教育機能             | 親水機能    | 0.27 |
|                    | 修景機能    | 0.37 |
|                    | 水質浄化機能  | 0.18 |
|                    | 生態系保全機能 | 0.18 |
| 福祉・ウェルネス機能         | 親水機能    | 0.26 |
|                    | 修景機能    | 0.17 |
|                    | 水質浄化機能  | 0.23 |
|                    | 生態系保全機能 | 0.34 |
| 地域形成機能             | 親水機能    | 0.67 |
|                    | 修景機能    | 0.33 |
| 風土・文化・歴史保存<br>醸成機能 | 親水機能    | 0.48 |
|                    | 修景機能    | 0.52 |

## 6. 利根運河への導水量の検討

本評価手法の適用性と評価閾値の検証を目的として利根運河への環境用水導入量の算定を行った。

利根運河は、舟運のため利根川と江戸川を結んで掘られた延長約8kmの水路で、千葉県の柏市船戸から流山市深井戸新田まで、野田市と柏市、流山市の市境を沿うように流れている。利根運河への導水量の検討を本手法を用いて行った。検討は、①評価地点の設定、②評価地点の水理特性の算定、③地域特性の算定、④直接的機能の算定、⑤間接的機能の算定、⑥総合評価、という手順による。

評価地点は、水路断面形状・材質等の違いによる水理特性、水路周辺の土地利用・市町村の違いによる地域特性、排水の流入等による水質・流量等の縦断特性に配慮し表-6及び図-5に示した地点を設定した。なお、表-6の代表延長とは、評価断面が代表する延

長である。

評価断面の水理特性は、一次元不等流計算モデルにより、流量と水深、流量と流速、流量と水面幅の関係を求めた。水理計算条件を表-7に、水質条件を表-8に、図-6に運河橋付近の水理特性を示した。水質は、利根運河の水質・流量と環境用水源となる利根川の水質をもとに完全混合するものとした。

## 6-1 地域特性

地域特性の評価は、環境用水を導入する地域の特性を評価対象地域に対して相対的に評価するものであるから、評価対象地域の設定が必要である。

評価対象地域を千葉県全域とし、千葉県全市町村の統計データを収集、整理を行った。統計データと各機能の関連性を考慮し、表-9の統計データを用いることとした。

利根運河周辺の市町村である野田市、柏市、流山市のデータと千葉県内の全市町村のデータを比較し、相対的な関係を求めた。評価地点は市境に位置することから、評価地点の地域特性は2つの市の点数の平均とした。算出結果を表-10に示した。

表-6 評価地点の設定

| 評価地点     | 市町村     | 選定理由  | 代表延長  |
|----------|---------|-------|-------|
| 利根運河橋    | 流山市・野田市 | 田園地域  | 1.7km |
| 運河橋      | 流山市・野田市 | 市街地   | 2.3km |
| 柏大橋      | 野田市・柏市  | 自然が豊か | 2.0km |
| 江川排水樋管付近 | 野田市・柏市  | 貴重な生物 | 2.0km |

表-7 水理特性計算条件

| 対象区間  | 0km～7km            |
|-------|--------------------|
| 下流端水位 | 3.2m(Y.P.)         |
| 計算格子点 | 縦断方向14分割(約500mピッチ) |
| 粗度係数  | 0.02               |

表-8 水質条件

|       | 利根運河橋             | 運河橋～江川排水樋門 | 導水水質<br>(利根川) |
|-------|-------------------|------------|---------------|
| 水量    | m <sup>3</sup> /s | 0.7        | 1.3           |
| 透視度   | cm                | 33         | 28.9          |
| BOD   | mg/l              | 10.8       | 7.5           |
| DO    | mg/l              | 5.74       | 6.71          |
| SS    | mg/l              | 20.9       | 18.5          |
| pH    |                   | 7.45       | 7.52          |
| N     | mg/l              | 8.67       | 8.52          |
| P     | mg/l              | 0.821      | 0.501         |
| 大腸菌群数 | 個/100ml           | 110,000    | 35,000        |
|       |                   |            | 5,365         |

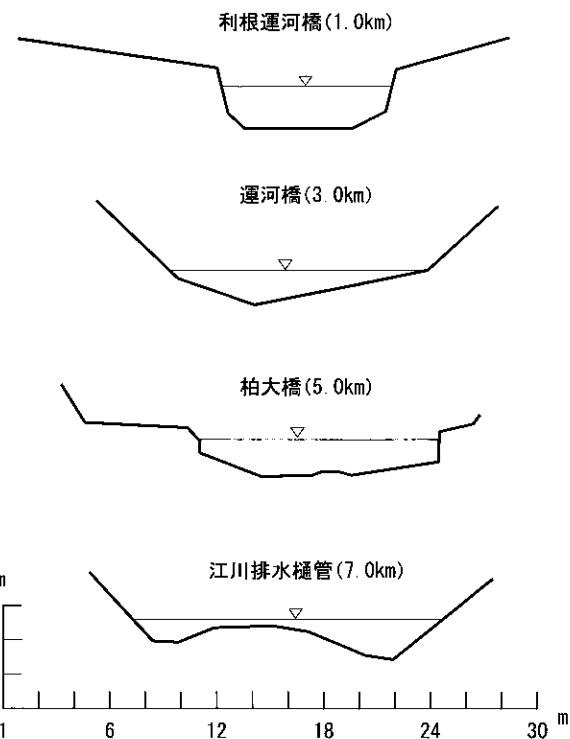


図-5 評価地点の断面

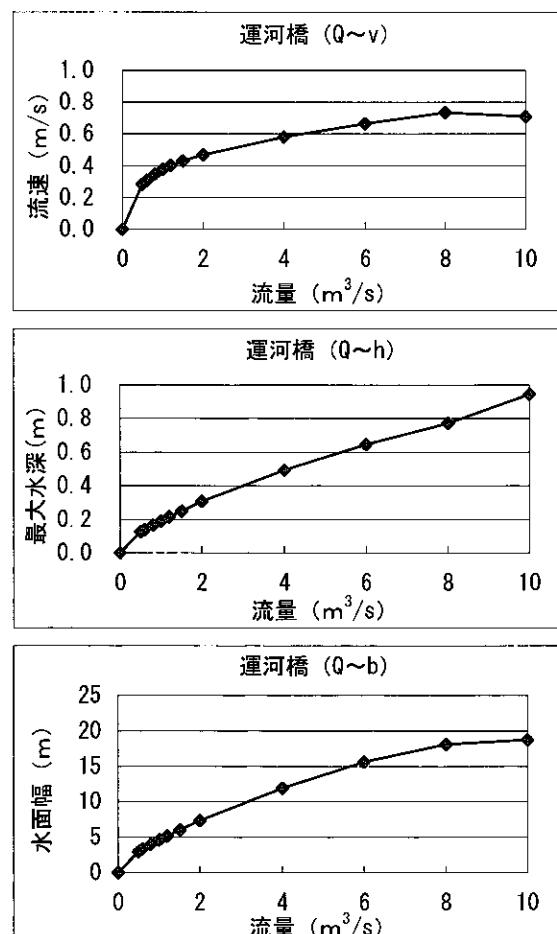


図-6 運河橋付近の水理特性

表-9 地域特性で用いた統計データ

| 機能         | 統計データ  |
|------------|--------|
| 親水機能       | 小学校数   |
| 景観機能       | 都市公園数  |
| 水質浄化機能     | BOD    |
| 生態系保全機能    | 池沼面積   |
| 観光機能       | 観光客数   |
| 福祉機能       | 福祉従事者数 |
| 環境教育機能     | 児童生徒数  |
| 地域形成機能     | 人口増減   |
| 歴史・文化・風土機能 | 文化品数   |

表-10 地域特性の算出結果

| 機能         | 利根運河橋 | 運河橋 | 柏大橋 | 江川排水樋管 |
|------------|-------|-----|-----|--------|
| 親水機能       | 3.5   | 3.5 | 3.5 | 3.5    |
| 景観機能       | 2.5   | 2.5 | 2.5 | 2.5    |
| 水質浄化機能     | 4.0   | 3.0 | 3.0 | 3.0    |
| 生態系保全機能    | 3.0   | 3.0 | 3.0 | 3.0    |
| 観光機能       | 2.0   | 2.0 | 3.0 | 3.0    |
| 福祉機能       | 3.0   | 3.0 | 3.0 | 3.0    |
| 環境教育機能     | 3.5   | 3.5 | 3.5 | 3.5    |
| 地域形成機能     | 3.5   | 3.5 | 4.0 | 4.0    |
| 歴史・文化・風土機能 | 3.0   | 3.0 | 3.0 | 3.0    |

## 6-2 直接的機能の算定

導水量を0~8.0m<sup>3</sup>/sの範囲で0.5m<sup>3</sup>/s単位で変化させたときの、各評価地点の直接的機能の評価結果を図-7に示した。

親水機能は、導水により必要な水深を確保し水質改善により機能を発揮する。ただし、導水量が多くなると流速が親水目的に適した範囲より大きくなり点数は低下する。親水機能に適した導水量は、評価地点の水理特性により異なっている。

利根運河橋では、導水量が3.0m<sup>3</sup>/s以下では大腸菌群数が25000MPN/100mlを越えることから0点となっている。江川排水樋管では導水量が1.0m<sup>3</sup>/sで最大の得点となる。

景観機能は、導水により水面幅と水深が確保できることから運河橋、柏大橋、江川排水樋管では、導水量の増加により点数が増加している。利根運河橋では水面幅と水深が確保による点数増加があるものの、導水量3.5m<sup>3</sup>/s周辺で、流速が0.8m/sを越え人に恐怖感を与えることから点数が低くなっている。更に流量が増えると水面幅が広がり流速は減少することになり、再び点数は高くなる。

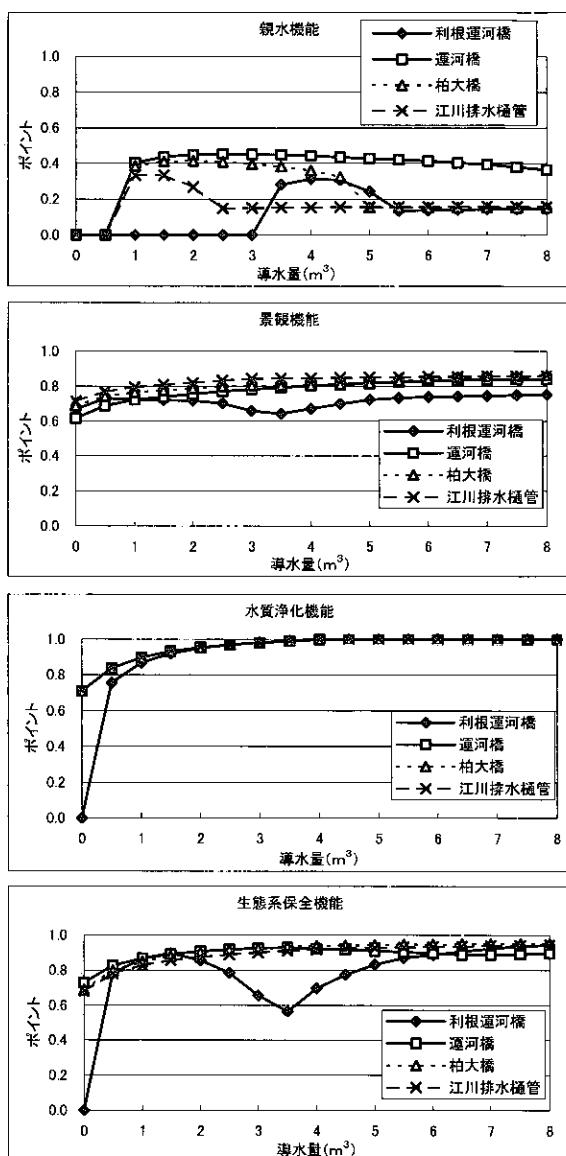


図-7 各評価地点の直接的機能

水質浄化機能は、導水量の増加に従い環境用水源の水質に近づくことから点数が増加している。

運河橋、柏大橋、江川排水樋門で同一の水質条件としたため、3地点は同じ結果となっている。導水量0のときに利根運河橋の点数が0になっているのは、BODが10mg/lより大きな値になるためである。

生態系保全機能は、導水量の増加に伴い水深が確保され水質が改善されることから点数が増加しているが、利根運河橋では景観機能と同様に導水量3.5m<sup>3</sup>/s周辺で流速が大きくなっているため点数が低下している。

4地点でそれぞれ、各機能の点数・地域特性・代表延長の3つの積を求め、その合計が利根運河の直接的機能の点数となる。算定結果を図-8に示した。

導水量0.5m<sup>3</sup>/sで、水質浄化機能と生態系保全機能

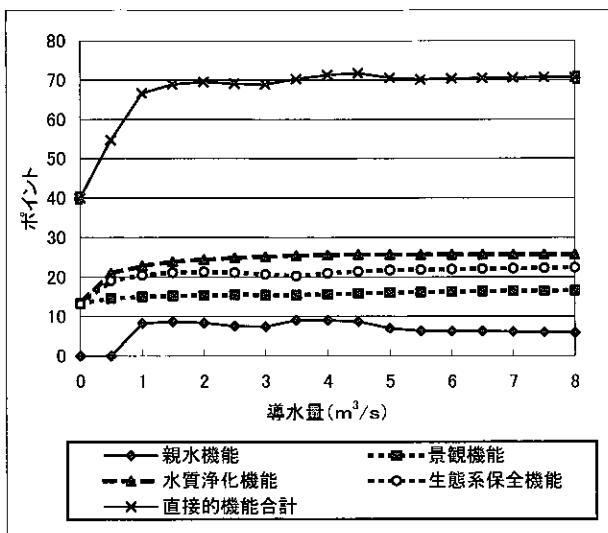


図-8 直接的機能の評価

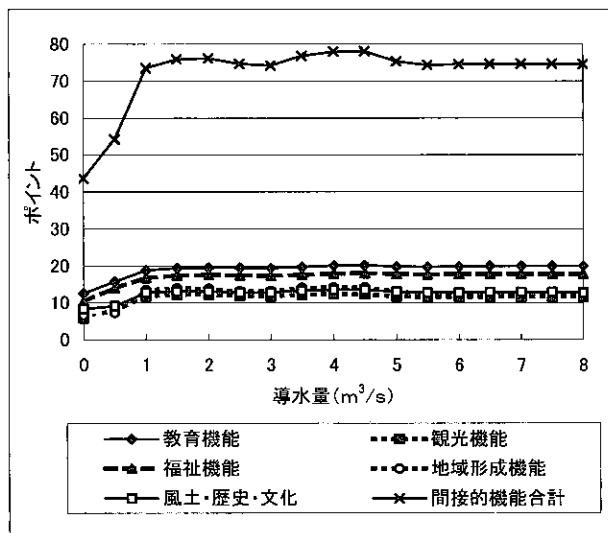


図-9 間接的機能の評価

が大きく向上し、導水量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ で、親水機能が大きく向上する。直接的機能全体では、機能の向上は導水量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ からあり、導水量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ のときに最大の点数となるが、導水量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ を越えると大きな変化はない。

### 6-3 間接的機能の算定

導水量 $0\sim8.0\text{m}^3/\text{s}$ の直接的機能の点数をもとに間接的機能を算出した結果を図-9に示す。

間接的機能の向上は導水量 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ からみられ、導水量 $4.5\text{m}^3/\text{s}$ のときに最大の点数となる。ただし、導水量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ のときに最大点数の94%の点数となり、 $1.0\sim8.0\text{m}^3/\text{s}$ の範囲において得点に大きな差はない。導水量に対する間接的機能の点数増加は導水量

$1.0\text{m}^3/\text{s}$ を越えると小さくなる。

$1.0\sim8.0\text{m}^3/\text{s}$ の範囲において得点に大きな差はないこと、導水量の増加に伴って経費が増大することや導水元への影響等を考慮すると、適切な導水量は $1.0\sim1.5\text{m}^3/\text{s}$ であるが、最適導水量の設定にあたっては、導水量を $0.5\sim1.5\text{m}^3/\text{s}$ の範囲で $0.1\text{m}^3/\text{s}$ 単位で評価を行うことが必要である。

## 7. まとめ

既存の指標・基準や水理特性を組み合わせることで、環境用水の機能を点数化する手法を示した。環境用水の導入による機能の向上や、評価地点の水理特性等による影響の違いを表すことができた。

しかし、限られた基準や研究報告等を基に関数化を行っており、関数に反映されていない事象がある事、要件間の重みや関連性の客観的評価手法の確立が必要な事等、評価結果の精度という面での課題が残されている。

今後、社会変化によって環境用水に求められる機能が変わることを考慮し、基準や各種調査等の知見の集積を行うと共に評価事例を増やし、係数や関数の見直しを行い精度の向上を図る必要がある。

また、CVM等の経済的評価手法の算出結果と、本手法による結果を比較し、係数や関数の見直しを行うことで、経済的価値の評価も可能になると考える。

## <参考文献>

- 1) 土永恒彌：道頓堀川の水辺環境の再生と水質浄化、環境技術 Vol.25 No.8 (1996)
- 2) 大島孝二：名古屋城外堀の浄化対策について、工業用水 第495 平成11年12月号
- 3) 土屋十蔵：親水機能としての都市環境用水、用水と廃水 Vol.37 No.8 (1995)
- 4) 萩木浩行：修景を目的とした府内城用水へのオゾン処理の適用、水環境学会誌 Vol.21 No.3 (1998)