

水域生態系の定量評価手法の開発と 治水計画策定への応用について

THE DEVELOPMENT OF EVALUATION METHOD TO ECOSYSTEM AND APPLICATION TO PLANNING OF FLOOD COUNTER MEASURE

菅 和利¹、森下郁子²、伊藤啓太郎³

Kan Kazutoshi, Morisita Ikuko, Itoh Keitaro

¹ 正会員 工博 芝浦工業大学教授 工学部土木工学科 (〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14)

² 大阪産業大学教授 人間環境学部都市環境学科 (〒532-0003 淀川区宮原 2-11-22)

³ 学 員 芝浦工業大学工学研究科建設工学専攻 (〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14)

To make flood damage reduce, it is doing river repair construction, the exhibition of hazard mapping. However, enough understanding isn't gotten from the citizen by the influence over the environment by the construction. In this paper, it took up a river ecology system as the environment factor and as the flood risk it took up number of the inundated houses. It questioned a habitant using these two factors and it found the weight of the factor respectively by the exchange off method. When constructing in the river repair for the safe degree to improve, it provides the flood risk and the environment influence risk. The consciousness of the habitant can be reflected to these two risks and the environment change measure can be made clear.

Key Word: *inundated houses, flood risk, environment influence risk, river ecology system, exchange off method*

1. はじめに

洪水被害を軽減させるため、ハード面での河川改修工事、ソフト面でのハザードマップの公開、避難訓練などが行なわれ、治水安全度の向上が図られてきた。他方、河川改修工事に伴う河川環境の変化も引起している。また「河川改修は治水安全度を向上させ、地域住民の生命と財産を守ります。この際の工事では環境への影響を最小限にするよう配慮しています」と説明しても住民から十分な理解が得られていないのも現状です。数値化した説明がなされてこなかったのも原因の一つである。「河川改修をすれば洪水被害危険性(洪水リスク)を10点低くすることができますが、環境は20点低下します。しかし、環境低下を10点だけに抑えようとすると洪水リスクの低減は5点です」といった住民が受ける洪水リスク、環境変化リスクを同じものさしの上で共有して議論ができる環境

を作ることが重要である。本論文では環境要因として河川生態系を取り上げ、洪水リスクとして家屋の流出、床上、床下浸水などの物的損害を取り上げた。森下が開発した水域生態系の定量評価手法¹⁾を用いて河川工事前後それぞれの環境を定量評価し、浸水予想図を用いて浸水家屋数を算定し、リスクカーブ法で洪水リスクを算定した。この2つの要因を用いて住民へのアンケートを行ない、トレードオフ法によってそれぞれ要因の重みを算定し、総合被害値より治水計画のあり方を検討した。

2. 河道生態系の定量評価手法の開発

河川環境を定量評価する指標にはさまざまなものがある。例えば河川の水質を評価する際に用いられる指標としてBODやCODがある。その他実際に水域に生存している水生生物群から水質を決める方法としてBeck-Tuda²⁾法やPantle-Buck法、

現存する生物の種類数及び各種の個体数から水域の多様性を評価する指標には Shannon Index などがある。

しかし、BOD や COD は水域内の有機物の総量を示す指標であり、また、Beck-Tuda 法や Pantle-Buck 法、Shannon Index は、現在の河川の状況を表すが、工事後の予測に適した指標ではないため、対策が行なわれた後の状況を客観的に示したとしても、市民が理解し、参加するにはいたらない。

そこで視点をかえ、生態系の保全とは、生態系の要素である生物的要素（そこに生息・生育する生物）と非生物的要素（大気、水、土壌等）を個別に捉えるのではなく、相互が関連して成立する生態系の機能が持続可能となるように、維持あるいはその回復等を図ることである。従って生態系の保全を目的とする際には、これらの物理化学的、生物生態的要素を総合的に捉える指標が必要になる。そのために、どんな川でも、いつでも出現する良く知っている生物についての知見をまず基準にして、生物の生息するための川の環境条件を調査と経験から求めたのが HIM(Habitat Index, Morisita' 98)である。

HIM では、日本の川で生物が生息するための条件を 10 項目選び、その 10 項目が各地点で満たされているかどうかを評価する。評価は相対評価であるので 3 ランクに分け評価値を算定した。条件が満たされていれば 5、そうでなければ 1、どちらでもない場合は 3 を与え、地点毎に最高 50 点、最低 10 点の評価をつける。これを「環境からみた HIM の評価値(LHIM)」と呼ぶ。

つぎに、それぞれの魚種についてこれまでの各魚種の生態学的な知見や研究者の経験から得た知識に基づいて、最も一般的にその種が好む状態を HIM10 項目に対して 5, 3, 1 の評価点を選び、その種の「要求度」とした。

現地調査で魚類の出現種を確認してから、出現種それぞれの要求度を計算する。これら各魚種の要求度の平均がその地点の「魚からみた HIM の評価値」となる。これを HIMm98 とする。この HIMm98 は出現する種類数が直接反映されるために、河川に優先的あるいは潜在的に存在する種と偶然的に得られた種の評価の重みが等しくなってしまう。そこで、出現種とその個体数を考慮したのが PHIMm99 である。

$HIMm98 = \Sigma \text{生息する魚類の持つ HIM 評価値} / \Sigma \text{種類数}$

$PHIMm99 = \Sigma \text{生息する魚類の持つ HIM 評価値} \times \text{個体数} / \Sigma \text{魚類数}$

HIM 1 川が上下につらなっているか

海から源流まで長い行程を移動する魚は、全魚種のうち 1 割ぐらいであるが、中流から下流へ、

中流から上流への移動が必要な魚種を合わせると 6 割以上が、河川が上下流へ連続していないと生活できない。

5 魚が自由に移動できる 3 少し移動できる

1 移動できない

HIM 2 細流、水路等のつながりが有効か

日本の川は 5000 年前から田畑の水をひくために利用されている。5000 年程度では、生物の種が新たに適応進化をしないから、田畑とつながった川を利用しながら川に生息する生物が生き残った。本川に生息する生物でも、その生活史の一時期に、支川の細流や水路を行き来する魚や底生動物は全魚種の 6 割にも達する。細流は大水などのときに逃げ込む場として位置づけたら、どの魚にとっても必要な条件である。

5 常に移動できる 3 細流、水路があるが移動困難

1 細流、水路もなく移動できない

HIM 3 冠水率の高い水辺（湿地）や伏流水はあるか

川の中洲や流速が多様な部分、また水辺があることは、魚の産卵場や、増水時の逃げ場になり、ワンドや池、小さな流れに生息する生物にとっては重要な場である。しかし、河床が下がってきて、水面がちよつとの増水ぐらいでは植物の茂っているところまで冠水しなくなると、せっかくの植物帯が生物に利用できなくなる。冠水の度合いは魚や虫の場の利用形態に関係する。都市の水域と山間地の水域との違いは、水辺の存在である。水辺は、陸から水域へ、水域から陸への移行帯であり、日本では多くの淡水魚や底生動物が休み、産卵し、仔魚や幼生の育つところである。

5 増水の度に冠水する 3 年 2~3 回冠水する

1 数年に 1 回冠水する

HIM 4 河床に大小の石があるか

それぞれの生物が生息する場合は、日常的には河床の形態に左右される。砂中にすむ、石礫にすむ、そして植物のあるところで餌を食べ、岩盤の下で割れ目で産卵する。すなわち、河床の形態が一樣ではなく多様な組み合わせがあることがその魚が一生、そこで生息する条件になる。

5 河床材料がいろいろ 3 同じ大きさの材料で偏っている 1 石だけ、泥だけ、砂だけに偏っている

HIM 5 水深に大小があるか

流れに沿って連続した瀬や淵があるだけでなく、横断方向に 5cm くらいの浅いところから 2m ぐらいまでの深さがある。魚は体高、体長の 3 倍の水深がないとその場所に生息できないので、水深に変化があるとめだかのような小さな魚も大魚のえさにならないで生息できる。水深に差がなく流れが平均化すると、日本の山地溪流に生息するサケ

科やハゼ科の魚は、やや平地流のアユやアブラハヤなどのコイ科の魚に分布域を譲る。水質は変わらないのに、物理的な生息条件の変化で生息する魚の種は大きく変わってきている。

5 変化に富んでいる 3 ある程度水深に変化が見られる

1 水深が一定で変化がない

HIM 6 流速に大小があるか

大きな流速は 1m/sec 以上。小さな流速は 5cm/sec 以下。流水性の魚は、餌をさがすときは通常生息する場所より比較的流速の速いところを求め、夜休むときは昼間活動するところよりは、より流速の小さいところに集まる。短い距離の限られた水域にいろいろな流れがあると、いろいろな種が生活できるだけではなく、大きな流速と小さな流速があることで、生物の 1 日の行動にリズムが生まれる。

5 流速が変化に富んでいる 3 やや変化の有る流れが存在する 1 均質な流れとなっている

HIM 7 ヨシ、水草等水生植物があるか

植物が増えすぎると流れが阻害され、また植物に集まる原生動物の増加で水中の溶存酸素が欠乏して、日光を好む溪流性の魚種も好酸素性の回遊魚も生息しなくなる。フナなどの池沼性の魚や稚魚が生息し、非常時には大型の魚の隠れ場になる。

5 色々なタイプの水生植物が有る 3 同じ種類の水生植物が少し有る 1 水生植物がない

HIM 8 水辺林が連続しているか

生物の上流志向性が日本の川に生物がいなくならない大きな理由である。水生昆虫の移動は水辺林の助けをかりる。上流から風が吹けば樹木の下部の地上よりのところに小さな反対方向の風が生じ、その小さな風によってカワゲラやトビケラなどの水生昆虫の成虫は上流へ翔行する。そして自分の生まれた上流の地で産卵する。また水辺林は樹木に来る陸上昆虫を餌としている魚の重要な餌供給源である。河道内のどこかに樹木があれば良いのではなく、彼らが生息する場の水辺に樹木があり、その樹木によって水辺に陰ができ、陸生昆虫の供給があることがアマゴやヤマメなどの陸封されたサケ科の魚の重要な生息場の条件である。

5 水辺林が連続する 水辺林がまばらである

1 水辺林がない

HIM 9 水面への光の当たり方

生物が生息する条件は水温で論じられることが多い。イワナなどの源流に生息する冷水性の魚は、水温が 20℃以下のところが分布域になっている。しかし 20℃以下のところでも樹木もなく光のよく当たる場所では、サケ科の魚はさがしてみても姿がない。サケ科の魚は水温だけでなく、いくつかの条件が重ならなければ生息しない。長い期間の

観察から、生息場と水面に射す光の時間には関係がある結論できる。「陽があたる」と「陰がある」を水面への一日の日照時間の 1/3 の 6 時間を目安に区分する。山地溪流に人手が加わると、水生生物の生息環境としての変化が顕著に現れるのは、水面が明るくなることと、水辺林が消失することである。

5 水面に光があたる時間が 1 日 6 時間以下である

3 陰になるところと明るいところがある

1 いつも光があたっている

HIM 10 攪乱の度合い

日本の河川における攪乱は河川に生息する生物にとって重要な要素である。攪乱の度合いとは生態系の安定性の度合いである。山間地の溪流では環境の変化が少なく、生態系が安定している。このような場所は攪乱の度合いが小さく、生態系が安定している。攪乱には洪水のように繰り返し何度も起こっている自然の攪乱と工事、魚種の移入等の人的な攪乱とが有る。洪水等の攪乱を受けないと生物相が極相になってシステムが破壊される。他方、ダムなどの建設による下流河川への影響は、人工的な攪乱でシステムの安定化を阻害し、生物の多様性を失う。また、河床がアーマコート化し、砂が動かなくなり、流れが穏やかな平地流になり、ヨシ帯や水草が河川の中で占める割合が大きくなると外来種が侵入しやすい河川となる。

従って、工事などによって河道が固定化されている、工事の攪乱が存続している、河川敷に植物帯や湿地が有る平地流になっている場所を攪乱の度合いが大きいとする。

5 改変から時間がたって安定している 3 改変が目立たない 1 改変が繰り返されている

これら HIM10 項目の評価点の合計値を生物生息環境場の評価値とした。最低 10 点、最高 50 点での定量評価である。森下は河川の調査を通して、以下の評価基準を設定した。35 以上であればあまり手をかけずに、できるだけ保全する。25~34 であれば必要に応じた管理をしながら生態系の回復を図る。10~14 であれば思いきった再生または創造の方策を立てる。

景観からの評価値と生息する生物からの要求度の一例を示したのが図-1 である。景観からの評価値 LHIM が魚からみた評価値 HIMm98 より高くなる傾向を示している。川の周辺環境から受ける印象では多様な生息場が広がっていると判断しているが、実際には生物の生息するための基本的な基盤が整っていない場合が有ることを示している。

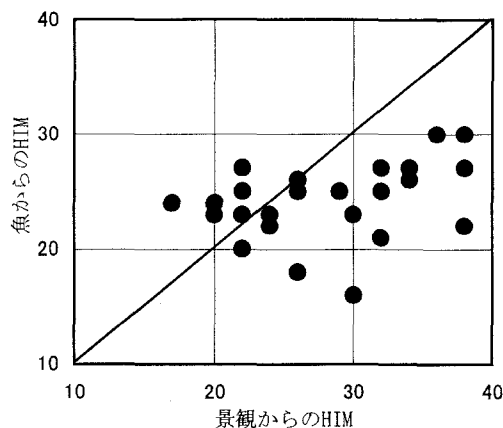


図-1 景観からのHIMと魚からのHIM

3. 住民意識を反映した洪水リスクと生態環境影響意識の重みについて

本研究では渡良瀬川上流の桐生川濁沼地区改修工事箇所付近を対象にして、洪水対策に伴う河川環境悪化の最大許容量についてアンケートを基に検討した。芝浦工業大学の学生の協力で事前のアンケートを行ない、内容の認識、評価判断等の不明確さを改善して、実施した。工事箇所周辺の桐生市、小俣市の住民に直接手渡し、翌日回収を行った。配布数 135、回収数 131 であった。

3.1 洪水リスクについて

洪水が発生した場合の損害を被る可能性を洪水リスクとすると、その発生の可能性、その事象がもたらす結果、影響及びそれらの予測誤差などを検討する必要がある。しかし、本研究ではリスクの絶対値を算定することを目的としておらず、住民が感じる洪水危険性と環境変化の相対的な比較を行なうことを目的としている。従って、住民が自分自身に及ぶ可能性がある損害として理解しやすい浸水の程度を洪水リスクと考えることにした。損害の種類としては浸水被害(家屋の流出、床上、床下浸水)を、リスクの大きさとしては1年あたり平均浸水家屋数で表すこととする。

3.2 洪水リスクの減少率

「治水計画では、50年に1度の洪水に対して対策を立てる」と説明すると、これがどの程度の洪水リスクを低減するのかを定量的に説明するのは困難である。また「50年に1度の洪水によって生じる床上浸水が床下浸水になる」といってもリスクを定量的に説明するのも難しい。このような定性的な表現を定量的な表現で行なうことを以下のように考える。

表-1 全国合計の浸水被害(棟) 水害統計

	家屋の半壊、流出 (棟)	床上浸水 (棟)	床下浸水 (棟)
1984	107	2407	26012
1986	1095	41353	87005
1987	653	7815	50201
1988	729	8829	44345
1989	299	11648	74667
1999	1220	20450	61044
2000	233	32238	59622
合計	4336	124740	378896
比率	1	28.8	87.4

表-1 は水害統計から各年の家屋の浸水被害を整理したものである。表-1の比率は、家屋の半壊・流出棟数の合計を1としたときの床上、床下浸水棟数それぞれの割合を示したものである。家屋の半壊・流出は物損では決定的なダメージであり、床上浸水でのダメージは流出に比べるとかなり減少する。そこで家屋の半壊・流出が床上浸水になると洪水リスクが1/28.8に減少すると考える。同様に家屋の半壊・流出が床下浸水になると洪水リスクが1/87.4に、床上浸水が床下浸水になると洪水リスクは28.8/87.4に減少すると考える。

このように洪水対策での洪水リスクの減少率を数値として説明することができる。洪水リスクの減少率とHIMでの環境変化の割合を定量的に住民に聞き取り調査を行なうことができる。この場合に洪水リスク減少については、家屋の流出が床上浸水になる場合と床上浸水が床下浸水になる場合では当然重みが違ってくる。また、浸水被害を経験した住民の場合には重みの付け方が被害経験の様子によって異なる。本論文では一般的な例として住民に提示するので1/28.8、1/87.4、28.8/87.4の単純平均値0.13を用いた。

3.3 桐生川での年平均浸水家屋数

桐生川左岸4.0km、右岸3.8km地点が破堤した場合の予想浸水図(図-2)より、浸水域内の浸水世帯数をカウントし、浸水家屋数とした。1/40、1/100確率流量に対する浸水家屋数はそれぞれ687棟、645棟であった。これらの値を用いて図-3のリスクカーブを描き、近似的な洪水リスクを求めた。リスクカーブを直線で近似し、図の斜線部分の面積が「1年あたりの平均浸水家屋数」の期待値である。すなわちこの値を洪水リスクとした。桐生川の対象地域での洪水リスクは17棟/年である。

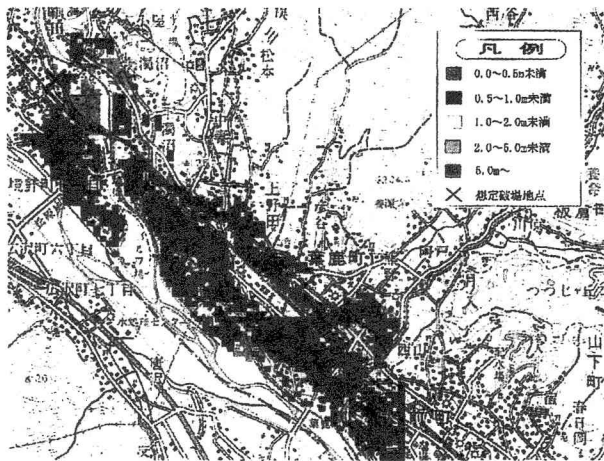


図-2 予測浸水深

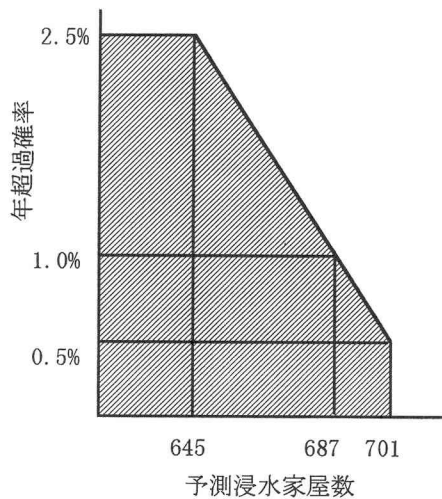


図-3 リスクカーブ

3.4 流域生態系への影響の最大許容点

本論文で提案した HIM を用いて流域生態系を河川改修前後で定量評価を行なった。河川環境影響の度合いを表すので、影響が大きいほど評価点が大きくなるように、HIM の満点 50 点からの差 50-HIM を IHIM として採用した。また 100 点満点との対比のほうが住民には分かりやすいと考えアンケートでは HIM の 2 倍の点数を「川の健康度」の指標として用いた。図-4 の「川の健康度」例を被験者に説明すると共に、桐生川対象地域での河川改修前の写真を見ながら HIM の評価を行った。HIM と生態系環境の定量評価を理解してもらってからアンケートをお願いした。

「50 年に 1 度の水害被害を河川改修による対策で軽減できるとき、川の健康度が現在 60 点の河川環境の悪化をどの程度まで許容することができますか」の設問で

- 1) 床上浸水が床下浸水に軽減されるとき、川の健康度減少の最大許容点
- 2) 家の流出が床上浸水に軽減されるとき、川の健康度減少の最大許容点
- 3) 家の流出が床下浸水に軽減されるとき、川の健康度減少の最大許容点

を回答していただいた。

アンケートを集計した平均点は、それぞれ 50.8 点、47.9 点、46.9 点であった。床上→床下、流出→床上、流出→床下の順に洪水対策の規模も大きくなるが、最大許容点もこの順序で低く、全体的

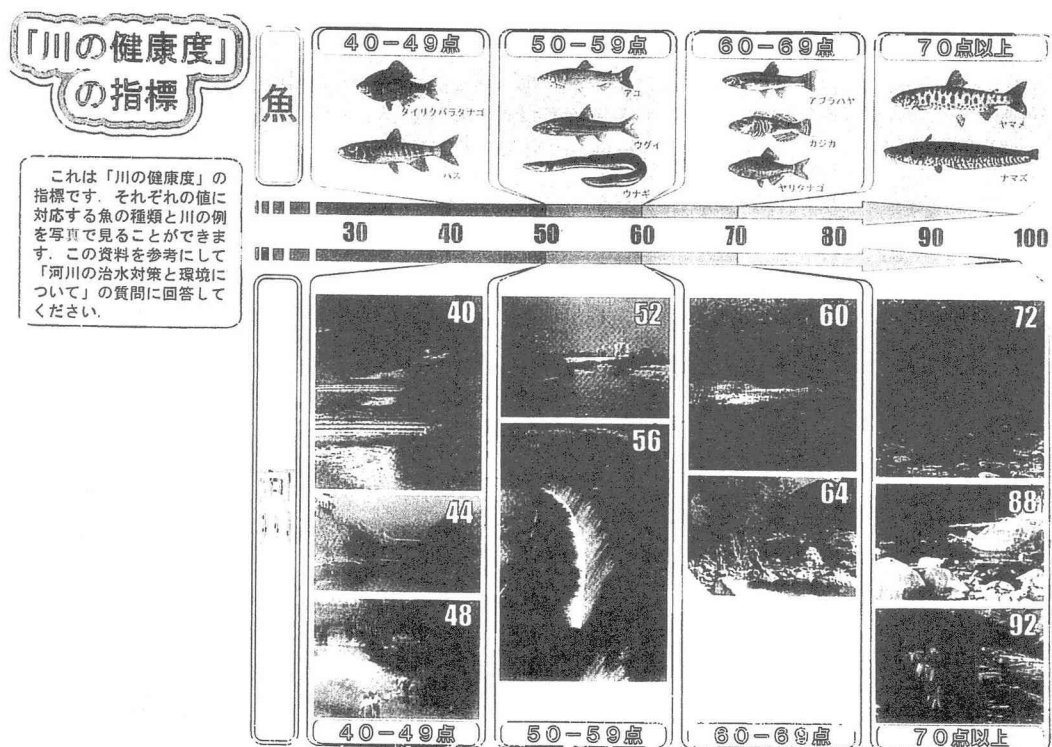


図-4 川の健康度の例

に見ると質問の意図が理解されていると判断できる。

この 3 ケースの許容できる川の健康度減少の平均点 $(9.2+12.1+13.19)/3$ の半分 5.7 が HIM の許容減少点である。

図－5 は桐生川での改修前、改修後の様子を示したものである。この図を元に HIM の評価をしたのが表－2 である。改修前（現況）での HIM 評価点は 32 点、改修後の HIM 評価点は 18 点と低い。



図－5 改修前、改修後の様子

表－2 HIM の評価

HIM	改修前	改修後	HIM	改修前	改修後
1	5	5	6	3	1
2	1	3	7	3	1
3	5	1	8	3	1
4	3	3	9	3	1
5	3	1	10	3	1

3.5 無差別直線を用いた重みと総合被害値

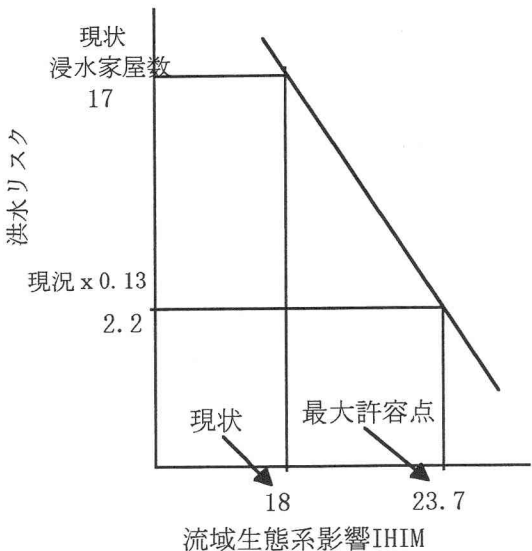
図－6 の無差別直線を用いて洪水リスクの重み $W1$ 、流域生態系影響の重み $W2$ を求めた。現状の洪水リスク、対策後の洪水リスクをそれぞれ $y1, y2$ 、流域生態系影響 (IHIM) の現状、対策後をそれぞれ $X1, X2$ とする。桐生川での改修では $y1=17$ 、 $y2=17 \times 0.13=2.2$ 、 $x1=18$ 、 $x2=18+5.7=23.7$ である。また、アンケートでは 50 年に 1 回の洪水を対象としているが、桐生川では 1/40 の洪水を対象にしているため、今回は $y1, y2$ に単純に 40/50 かけて修正した。重み、総合被害値は次式で表される。

$$W1 + W2 = 1 \quad (1)$$

$$W1 = \frac{x2 - x1}{(x2 - x1) + (y1 - y2)} \quad W2 = \frac{y1 - y2}{(x2 - x1) + (y1 - y2)} \quad (2)$$

$$\text{総合被害値 } V = W1 * x + W2 * y \quad (3)$$

洪水リスクの重み $W1$ は 0.33、流域生態系環境の重み $W2$ は 0.67 である。



図－6 アンケートから得られた重み

改修後での HIM の値は 18 で、洪水リスクの減少との引き換えで最大許容値は 26.3 である。住民の意識では改修工事は生態環境の低下を招いたと判断できる。時間の経過と共に河川の復元力によって生態環境は改善されるが、HIM 値の 18 と 26 では差が大きく、積極的な対策が必要である。総合被害値 V は改修前 17.7、改修後 22.2 で、25%の低下が見られた。

4. 結論

洪水リスクと流域生態環境を共に定量化し、これと同じものさしとしてアンケートによりそれぞれの重みを求めた。治水安全度向上を目的に河川改修工事を行う際に、流域生態環境影響を治水計画案ごとに住民に情報を提供し、洪水リスクと環境影響リスクを基に住民の意識を反映することができる。また、流域生態環境を数量化することにより、河川工事に伴う環境変化対策への具体的な改善目標を明確にすることができる。この定量化手法はあくまでも一手法で、今後多角的な検討が必要である。

参考文献

- 1) 森下郁子, 森下雅子他: 川の H の条件、山海堂、2000.
- 2) 津田松苗, 森下郁子: 生物による水質調査法、山海堂、1982.
- 3) 森下郁子: 生物モニタリングの考え方、(社)淡水生物研究所、1985.
- 4) 片田敏孝: 洪水氾濫に備える河川情報、pp. 15-21, 河川、July, 1999.
- 5) 兼松孝: リスク分析、土木学会誌、6月号、2000.

(2002. 4. 15 受付)