

河川生態機能影響評価総合指標による 環境システムへの実証分析

矢部 浩規¹

¹正会員 博(工学) (独)寒地土木研究所 水環境保全チーム (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)

E-mail:h.yabe@ceri.go.jp

河川空間は魚類や鳥類、人間等多くの生物主体によって利用され、生態機能を提供する場としての価値が高いため、河川環境を適切に管理していくためには、現況の環境システムを把握するとともに、将来の変化、影響予測評価情報が重要である。本研究は、治水安全度の向上が必要な都市河川を対象に、様々な生物の生息環境評価、魚類のエネルギー収支を最大とする好適な河川物理環境評価値、鳥類の生息に必要な河畔林評価値、ヘドニックアプローチによる人々の居住環境評価値を算出した。そして、定性的な河川物理環境要因データから各生物個々の評価を総合かつ統合する新たな影響指標を、多変量解析手法を適用した広域的指標を作成している。実証的に得られた指標は、各生物に対する生態機能評価を同時に、対象空間での相対比較、河川整備の実施前後の比較が数値的に表現可能となる特色がある。

Key Words : river ecosystem index for assess , multiple organism such as fish etc , river physical environment

1. はじめに

河川空間は魚類や鳥類、人間等多くの生物主体によって利用され、生態機能を提供する場としての価値が高いため、治水安全度の向上と河川環境を考慮した河川整備計画の策定、実施を適切に管理していくためには、現況の環境システムを把握するとともに、将来の環境変化、影響予測等の評価情報が重要となっている。また、治水安全度と整備方法の工学的評価に関する知見に比べ、河川環境の評価については近年蓄積されているとはいえない。

本研究は、主に札幌市を流れる都市河川を対象に、河川環境システムの評価指標を構築することを目的としている。治水整備、管理が重要な都市地域に存在する河川の場合、その空間を利用する、あるいは影響を受けているさまざまな生物の生息に対する治水リスクと河川環境の比較、検討が重要であるためである。魚類や鳥類等生物生息に必要な河畔林の存在が洪水時の阻害にどのように影響を及ぼすか分析する工学的研究¹⁾は従来から蓄積されている。そこで本研究では、河畔林を含む河川物理環境による魚類、鳥類の生息環境評価値を算出している。また、河川環境が及ぼす居住環境に対する影響評価値から治水リスクと河川水質環境の評価について比較している。

以上の評価方法は様々な生物主体の実証データに基づくモデルであり、総合的な評価を行うためには、広範かつ大量のデータを取り扱わなければならない。しかし、河川生態系に関する知見の蓄積、環境情報の整備の不十分さと情報の評価、利活用方法が確立されていない点が課題としてある。そのため、簡易な現地調査等から河川環境を総合的に表現し定性的に各生物個々の評価を統合する新たな指標を河川物理環境要因データとして抽出し、多変量解析手法を適用して作成した。今後、河川環境評価モデルとの比較検証等によって実用性が高まることが期待される。

これらの指標はいずれも河川物理環境要因のみを用いて算出する考え方による方法であるため、将来の影響予測評価が可能となる特色がある。

2. 河川環境評価指標

(1) 魚類生息環境

生息量が河川での物理環境特性に影響を受けやすく、北海道に多く生息する冷水性魚類のサクラマスを対象魚として生息環境を評価する。本研究では生存率に大きく影響する幼魚期を設定し、採餌特性を利用したエネルギー収支モデル²⁾を適用した。サケ科魚類は、採餌の際、流水に抗してある定点に留まるよう泳ぎつつ、昆虫が流

下してくると採餌行動を行う特性がある(図-1)。一般に流下量,すなわち流下昆虫量と流速とは正の相関があり,流速が大きいほど餌は多く流れ採餌しやすくなる。しかし,その反面,流速が早くなればその地点に定位するための泳ぐエネルギーは増大する。本モデルは,最も効率的に採餌することが可能な地点を生息場所として選択する考え方であり,実際の河川での生息密度調査との関係分析によってある程度妥当性が得られている。本研究では,この評価値を用いて生息環境を評価する。

式(1)に示すように,エネルギー収支量(NEI: Net Energy Intake)は,調査区間に設定した環境側点を仮想的な定位点とみなし,それぞれの地点で採餌により得られる獲得エネルギー量(GEI: Gross Energy Intake)と採取するために必要な遊泳エネルギー量(SC: Swimming Cost)を推定し,その差し引きにより得られる(図-2)。

$$NEI = GEI - SC \quad (1)$$

魚類の餌のとりやすさを表す指標であるGEIは下記の式(2)で算出される。

$$GEI(\text{cal/h}) = CA \cdot V_E \cdot D \cdot I \quad (2)$$

CA(m²): 採餌可能範囲

V_E(m/s): 採餌地点の流速

D(cal/g): 流下昆虫のエネルギー換算量

I(g/m³·h): 流下昆虫量

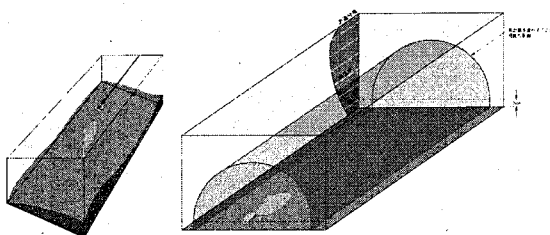


図-1 魚類(サクラマス)採餌行動

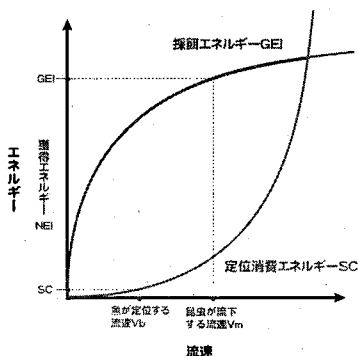


図-2 NEI (=GEI-SC) モデル

また, SCは式(3)より河川の流に逆らって定位するためのエネルギー消費量が算出できる。

$$SC(\text{cal/h}) = 0.9906 \cdot BW^{0.784} \cdot e^{(0.0186 \cdot V_E)} \quad (3)$$

BW(g): 魚の体重

V_E(m/s): 定位点の流速

札幌市内中小河川 120 地点を対象にエネルギー収支モデルを適用するための現地調査を 2005 年 9~10 月に実施した。各調査箇所において河川幅を 4 等分し,河川幅の 5 倍程度の区間長を 15 等分した計 60 地点で流速,水深等物理環境,また,調査箇所の平瀬 1 地点で流下昆虫量を測定した。表-1に本モデルを適用した河川別の NEI 値の算出結果を示す。

(2) 鳥類生息環境

豊平川において河畔林を生息又は営巣の場として利用する河畔林依存性鳥類の生息分布(ラインセンサス法による調査を 2003 年 6 月に 3 回実施)と,林分の規模及び群落構造との関係分析³⁾を行っている(図-3参照)。河畔林依存性鳥類を生息環境別・食性別に分類したグループ別及び全種を対象に行った林分の規模との関係について重回帰分析を行った結果,河畔林依存性鳥類全種の生息数は,林分の縦断距離又は最大横断幅に影響を受けることが示された。また,生息個体数と林分規模との関係から,河畔林依存性鳥類の生息・営巣を期待するには,少なくとも縦断距離では約 160m,最大横断幅では約 35m の林分規模,面積でみた場合には,少なくとも約 3,100m²の面積が必要であると考えられた。

表-1 魚類生息評価

水系	最大値	最小値	平均値	地点数
伏龍川	400	-10	88	11
発寒川	87	-9	6	11
創成川	71	-10	8	8
精進川	268	-15	31	9
望月寒川	767	-11	148	10
月寒川	150	-12	187	9
厚別川	101	-18	11	11
真駒内川	1683	38	305	7
琴似発寒川	174	-16	44	8
中の川	22	-9	1	5
新発寒川	12	-25	-8	7
新川	-4	-13	-7	7

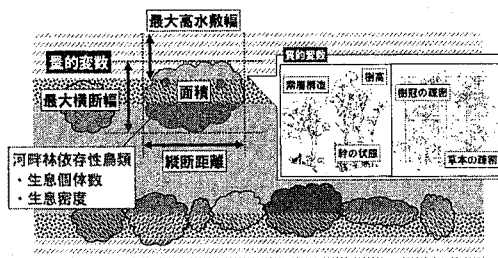


図-3 河畔林依存性鳥類の生息評価

表-2 鳥類生息評価

水系	河畔林面積 RA (千m ²)	単位延長当りRA (千m ² /100m)	区間当りRA 空間比率
伏籠川	41.8	0.4	0.05
発寒川	22.6	0.3	0.05
創成川	125.9	0.4	0.22
精進川	219.1	1.5	0.56
望月寒川	65.2	0.9	0.15
月寒川	204.9	1.1	0.24
厚別川	1112.7	2.8	0.32
真駒内川	330.4	2.0	0.55
琴似発寒川	455.8	3.0	0.42
安春川	7.8	0.1	0.06
琴似川	120.8	1.2	0.21

他河川における鳥類の生息評価にあたって河畔林の面積等が重要であると考えられるため、航空写真から河畔林、草地、水面、人工構造物、裸地に判読分類して面積等の集計をGISを用いて行った(表-2)。札幌市内各河川を規模に応じて25, 50, 100mの区間別に河畔林面積を求めており、鳥類生息環境の空間的評価が可能となっている。

(3) 居住環境-河川水質環境と洪水リスク

本研究ではヘドニック・アプローチを適用するため、河川水質環境や洪水リスクなどの水準が異なる地点の809地点の市場価格地価データ(札幌市東北部、石狩市を対象、成約期は1997年4月~1999年8月)を収集した。地価を被説明変数、河川水質環境や洪水リスクなど地価に影響を与える要因(地点特性)を説明変数として最終的に24変数を抽出して地価関数の構造を推定している(決定係数0.75)。

水質変数は、評価地点から石狩川、荻戸川、豊平川の3大河川、及び最寄りの3河川までの距離の逆数と、各河川での水質を用いて合成変数を作成した(式(4))。基準の水質によって地価を増加あるいは減少させ、距離による影響度の低減を表せる。水質と河川までの距離についてさまざまに組み合わせて分析した結果、3大河川では基準水質 $k=3$ 、距離 $l=10000m$ 、最寄りの3河川では $k=3$ 、距離 $l=1000m$ で t 値、決定係数が高かった。

$$\text{Var}(WQ) = \sum \exp(-L/l) \cdot (k - WQ) \quad (4)$$

L : 評価地点から各河川までの距離(m)

l : 影響距離(m)

k : 基準水質(BOD)

WQ : 各河川の水質(BOD)

対象地域において、三大河川の水質変数値を算出した結果が図-4であるが、石狩川、豊平川の水質は地価を増加させ良好な居住環境に寄与している一方、荻戸川は水質が悪いため地価を減少させていることがわかる。

洪水リスク変数は、現在および将来の洪水リスクに関

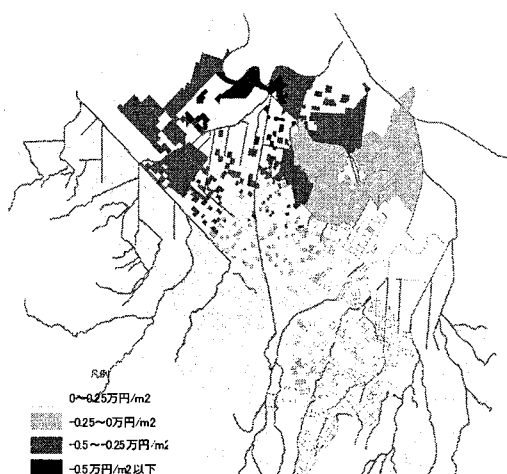


図-4 河川水質(三大河川)評価

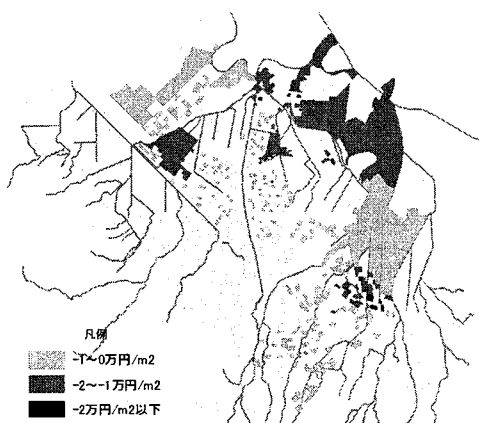


図-5 浸水リスク(過去)評価

して、一般の人々に情報提供されている石狩川や豊平川の破堤を想定した予想浸水深が示されている洪水氾濫危険区域図、さらに降雨確率規模ごとの想定氾濫による浸水被害予測を示す変数群を作成している。上記と同様にこれらの変数群を分析した結果、 t 値、決定係数が高い変数として洪水氾濫危険区域図による予想浸水深(0~4の指数に変換)が採用された。

過去の実際に生じた洪水リスクについては、浸水地点からの距離、浸水発生時点からの時間経過、浸水規模を組み合わせて分析を行った。その結果、浸水地点からの距離により直ちに影響が低減する一方、浸水時点からの時間経過によってあまり影響が低減しないことを表現する合成変数(式(5))が最も有意となった。図-5に分析結果を示すが、居住環境における河川水質環境や洪水リスクが同時に比較可能となる。

$$\text{Var}(FR) = \sum \exp(d \cdot \ln(t)) \quad (5)$$

d : 過去(1975~2000年)の浸水実績地点までの距離(m)

t : 浸水が発生した時点からの時間経過(指数化)

3. 広域的河川評価指標

しかし、これらの評価方法は実際に詳細な現地調査を行ってデータを得る必要があり、計画、整備等の対象区間が絞られている場合には有効であるが、広域的な予測評価の場合には、詳細なデータ収集に制約があるなかで分析、評価しなければならないことが多い。また、居住環境の評価にあたって河川水質以外の環境指標が影響を与えていることも予想される。

そのため、比較的容易に河川環境を評価するため、広範で大量な河川環境情報を、主成分分析を用いてより河川環境を理解しやすい形にまとめることが可能な総合指標を作成する。主成分分析による合成変量 $Y_1 \sim Y_q$ は、 q 個の河川環境の物理的構成要素データ ($X_1 \sim X_q$)、調査地点が m 個の場合、次式で表される。

$$Y_{m1 \sim m_q} = a_{1q}X_1 + a_{2q}X_2 + \dots + a_{q,q}X_q \quad (6)$$

Y_1 が第 1 主成分、 Y_2 が第 2 主成分、以下 Y_q が第 q 主成分であり、係数 $a_{1q} \sim a_{q,q}$ が固有ベクトルとなる。固有ベクトルの正負、大きさによって各主成分に対して変量 $X_1 \sim X_q$ がどの程度効いているかが分かり、その特性を把握することが可能となる。

札幌市内河川を対象に表-3にあるような物理環境データを河川幅等は地形図等からの実測データ、残りの項目についてはそれぞれカテゴリーを決めて現地観測データ及び各地点での上下流の景観から人間の判断で出来る限り分類、収集している。全調査地点、対象流域別等で分析した結果、各変数間に強い相関関係がみられる変数群から主成分が構成され、河川自然度、河川規模、緑(河畔林)の規模他、空間利用性等に主観的ではあるが解釈可能な軸にまとめることがわかった。

例えば、豊平川流域を対象とした場合、第 1 主成分(寄与率 24%)として河川の自由度や砂州、淵や早瀬、流速、水深差の有無と平瀬や水面面積など河川の流水部分、水面に関する変数が効いており、河川多様性を表す軸と考

表-3 広域的河川評価-調査項目

河川物理環境調査項目		
水温(℃)	淵、早瀬、平瀬：回数、比率等	樹木高さ(高木、低木、m)
透明度(cm)	流速、水深差の有無	樹木建群性(m)
色相(白色、黄色)	分岐、湾曲の有無	河畔林の水面、水際カバー有無
BOD(mg/l)	砂州の有無	中流の河畔林有無
平均流速(m/s)、平均水深(m)	支流流入の有無	水際水中植生の有無
流量(m³/s)	水面(m²)	堤防形状：寸法、角度等
河床材料粒径(cm)	裸地：人工、自然(m²)	護岸形状：角度等
河川勾配	草地：人工、自然(m²)	格梁の有無
河川幅(m) (=既水路幅+高水敷幅)	高水敷利用有無、公園等(m²)	床止め有無
河川自由度：1=水面幅/既水路幅	親水、水辺利用の有無	ゴミの有無

えられた。また、第 2 主成分第 1 主成分(寄与率 10%)は、樹木や草本など人工草地、牧草地を除く自然の緑量と解釈された。この指標値は魚類や鳥類の生息と関連があることが予想される。そこで、各調査地点における主成分得点を求め、前述した魚類、鳥類の生息評価モデルによって得られる評価値、実測の生息データと比較した結果、概ね相関関係がみられた。今後、詳細な現地調査を行わずに入手できるデータを用いた広域の評価の有効性の検証、解釈の妥当性を詳細に行う必要がある。

河川環境システムを考慮した整備目標、管理の設定方法の確立が望まれているが、各生物の生息評価を河川物理環境要因によってモデル化することによって、生物間での比較、河川環境変化前後での比較等が可能となる。より適切な生態系評価指標を構築するとともに、指標の広域の評価、居住環境評価への適用、統合化が重要になると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会, 水理公式集平成 11 年版 - 第 2 編河川編 -, 丸善, 1999.
- 2) 矢部浩規, 山下彰司: サクラマスエネルギー収支特性を用いた生息環境評価, 水工学論文集第 50 巻, CD-R, 2006.
- 2) 三田賢哉, 喜澤 一史, 矢部浩規, 中津川誠: 豊平川における河畔林伐採と生態環境との関係, 河川技術論文集第 10 巻, pp327-332, 2004.
- 3) Hidano.N: The Economic Valuation of the Environment and Public Policy - A Hedonic Approach, Edward Elgar Publishing, 2003.

CREATING A RIVER ENVIRONMENT INDEX FOR ASSESSING OF ECOLOGY FUNCTION SUCH AS FISH BIRD HABITAT, AND INHABITANT

Hiroki YABE

For proper river improvement and management, it has become important to compare flood risk with river environment, to understand the status of the river environment and ecosystems, and to obtain information for forecasts of riparian environmental conditions considering various organisms. The index was conducted for river in Sapporo city through inhabitant environment of human by hedonic land price analysis and habitat of cherry salmon using energy budget characteristics, and birds using riparian woods. We try to create the comprehensive index for wide area by principal component analysis.