

# 水生生物の生息環境評価のための地形・植生パラメータ構築とその活用例

三島 啓雄\* 高田 雅之 阿部 このみ\* 宮腰 靖之\*\* ト部 浩一\*\*

## 要 約

北海道南西部に位置する尻別川の流域を対象として、広域的な水生生物の生息環境評価を目的とした地形・植生基盤情報の整備を行った。次に、その基盤データを用いて、サクラマス産卵環境評価のための地形・植生パラメータの作成を実施した。さらに、河川環境復元施策における意思決定プロセスへの活用例として、各パラメータを元に抽出したサクラマス産卵適地と、河川横断構造物による遡上不可能水域とのギャップ分析を実施し、改善策を優先的に実施する地域の抽出を試みた。

Key Words: 河川地形, 河畔林, GIS, 河川横断構造物, サクラマス

## 1. はじめに

人間の活動域の拡大に伴い、北海道内では特に過去50年の間に、主に災害対策としての河川改修が数多く実施されてきた。しかしこれらの改修の多くは河川地形の単純化や水辺の植生の改変を伴ったため、水域および水辺域を利用する生物の生息環境への影響が指摘されている(たとえば、Negishi et al.<sup>1)</sup>;渡辺ほか<sup>2)</sup>;中野ほか<sup>3)</sup>)。特に、砂防ダム、貯水ダム、頭首工および治山ダムといった河川横断構造物によって、サケ科魚類を代表とする遡河回遊魚の生息域の分断および減少が進み<sup>4)</sup>、個体数の減少につながっている<sup>5)</sup>。そのため、遡上・回遊環境を改善する手立てとして、ダムへ魚道の設置やスリット化等を実施する等の提案がなされ、実際に施工が進んでいる。しかし、このような工事には多額の費用が必要となる。よって、対象とする水系内における施工箇所の選定に際し優先順位の設定は不可欠である。ここで、優先地域とは、対象とする生物に適した生息環境を持つものの、構造物等により対象生物が到達できない地域、と定義することができる。河川における水生生物の生息環境評価に関しては、河床礫や河岸植生等の微生息場所 (Micro habitat)、瀬・淵等として定義される河床単位 (Channel Unit) および複数の河床単位が含まれる区間 (Reach) という各スケールにおいて数多くの蓄積があり、特定の物理環境およびえさ環境に対するさまざまな水生生物の選好性が明らかにされている (たとえば、Inoue et al.<sup>6)</sup>)。一方で、構造物の設置や既存構造物の改

変および撤廃を計画する際には、上流域および下流域に与える影響を広域的に評価する必要がある。しかし、Reachスケール以下の環境要因の計測は、現地において直接かつ集約的に行う必要があるものが多く、広域かつ迅速な調査の実施には困難さが伴う。そのため、Reachスケール以下で蓄積された知見を間接的に説明する、広域的に出力可能なパラメータの検討が必要である。このようなパラメータライズ作業を実施するには、河川、周辺地形および植生等に代表される基盤情報が対象流域内において均等に整備されている必要がある。また広域的な情報を空間的に解析するためには地理情報システム (GIS) の活用が不可欠である。しかし生物の生息環境評価への使用を念頭においた基盤GISデータの整備は、北海道内のみならず日本国内でもまだ途上の段階である。そこで本研究では、第一に、尻別川流域を対象として流域基盤GISデータの整備を実施した。第二に、それらのデータからサクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵環境評価を行うことを目的とした河川地形および水辺環境のパラメータ化を試みた。最後に、各パラメータの得点化による調査対象流域内における相対的なハビタットの質の評価を行い、生息適地と遡上可能域とのギャップの抽出を実施した。その結果をもとに、河川環境復元事業を行う際の地域的な優先順位付けを試みた。

## 2. 方法および結果

### 2.1 研究対象地域

本研究では、北海道西部に位置する尻別川流域全域を研究対象地域として設定した。尻別川は日本海へ流出する流域面積1,640km<sup>2</sup>の一級河川である (図1)。サクラマスをはじめとする遡河性のサケ科魚類の生息域として知られ、水

\* 北海道工業大学環境デザイン学科

\*\* 北海道立水産孵化場

産資源の供給源としても重要な水系として位置づけられている。



図1 調査対象流域

## 2.2 流域基盤GISデータの整備

### 2.2.1 物理環境基盤情報の整備

#### デジタル標高モデル

国土交通省国土地理院により作成および配布されている基盤地図情報（縮尺レベル25000）の等高線データより、10m分解能のデジタル標高モデル（DEM）の作成を尻別川流域全域で行った。

#### 河川ネットワークデータ

空間基盤25000の河川中心線データから農用水路等を除去した後、河川の合流点および後述する河川横断構造物の位置を結節点（Node）とするネットワークデータを構築した。データ構造の模式図を図2に示す。結節点間をつなぐラインデータ（Arc）には、その上下流側に位置する結節点データ（Node）のIDが属性として格納されている。

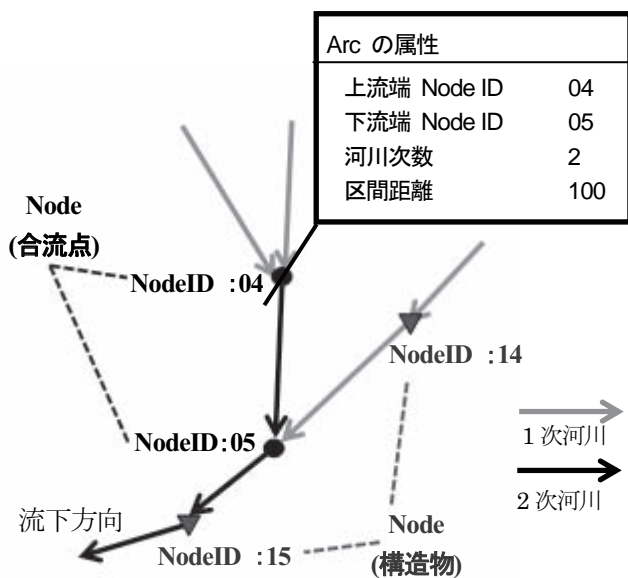


図2 河川ネットワークデータの構造

### 河川横断構造物データ

各種の河川横断構造物の位置情報、形状および機能を、北海道立水産孵化場による現地調査結果と環境科学研究センターの収集データから統合しデータベース化した。

### 2.2.2 生物基盤情報の整備

#### 河畔植生

河畔植生および土地利用図の作成を行うために、ALOS/Avnir2画像（2007年8月12日撮影）の4バンドに、NDVIをスタックした画像を用いて、教師付き分類を実施した。対象範囲は河川ネットワークデータのポリラインから両岸側100m範囲内とし、範囲内を6クラス（樹林帯、草地、裸地/砂礫堆、農地、道路/建物、開放水面）に分類した。教師の取得は、北海道小樽土木現業所撮影のオルソ航空写真および現地調査から行った。分類手法は最尤法を用いた。

#### 魚類分布情報

北海道立水産孵化場による尻別川流域内の各地点における魚類捕獲調査結果およびサクラマスの産卵床分布調査結果に、国立環境研究所が環境科学研究センターと共同で整備した文献情報（H-fish）および環境科学研究センターで収集した文献情報を追加し、調査場所、種名、種数、齢構成、体サイズ等を整理しデータベース化した。

## 2.3 環境データのパラメタライズ

### 2.3.1 地形抽出区間の設定

“Reach”とは、前述したように複数の河床単位（瀬、淵等）が含まれる区間として定義される。また、山本<sup>7)</sup>は、単列砂州が発生するような河川の蛇行波長は河道幅（Bankfull width）×6～15倍程度であるとしている。図3に示すように、1蛇行波長内には河道の屈曲によって形成される淵が2個以上含まれることが予測される。したがって1蛇行波長よりもやや長めに抽出した河川区間は、前述のReachという概念とはほぼ一致すると考えられる。よって河川地形のパラメタ化の際に抽出する区間は、任意の地点から河道幅の10倍の距離を半径として発生させたバッファによって切り取られる区間として定義した（図4）。

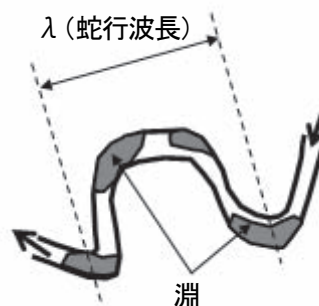
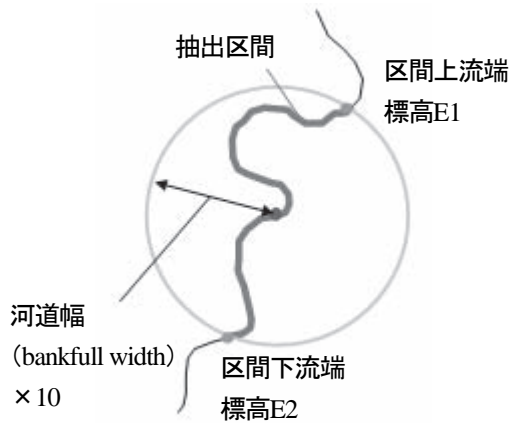


図3 河川の蛇行波長と淵の位置関係



$$\text{河床勾配(\%)} = \frac{\text{上下流端の標高差 [E1-E2] (m)}}{\text{抽出区間距離(m)}}$$

$$\text{屈曲度} = \frac{\text{抽出区間距離(m)}}{\text{河道幅(m)} \times 20 \text{ (=バッファの直径)}}$$

図4 パラメタライズを行う基準区間の定義および河床勾配および屈曲度の算出方法

このような定義を行うためには、各地点における河道幅の算出が必要である。そこで、山口ら<sup>8)</sup>の経験式を用いて次のように推定した。

$$\text{河道幅 (m)} = 3.476A^{0.435}$$

ここで、A：流域面積 (km<sup>2</sup>)、である。

各地点における流域面積には、10m解像度DEMから作成したFlow accumulation<sup>9)</sup>データのピクセル値を1/10,000した値を使用した。なお河川ネットワークデータは、空間基盤25000の河川中心線データをもとに作成したため、水面幅が1.5m以上の水路が抽出されている。流出河川(Runoff dominated river)における水面幅に対する河道幅の比は、1.76 (±0.67SD) 程度<sup>10)</sup>との報告から、地形図上には河道幅が約3m以上の規模の河川が抽出されることが予測される。よって、前述した区間抽出手法から解析区間長は少なくとも30m (= 3m×10) 以上の半径を持つバッファで切り取られた区間となる。この区間上には、DEMのピクセルが少なくとも流路延長方向に5個程度含まれる。これはラスタデータを用いて調査区間を代表する地形を定義するために、統計処理上最低限必要なピクセル数と判断した。

### 2.3.2 河川地形パラメータ

#### サクラマス産卵適地の抽出

サクラマスの産卵床は、“淵尻”または“瀬頭”と呼ばれる淵から瀬への移行区間に造成されることが多い<sup>11)</sup>。そこで、まず水理条件および地形条件から淵尻が形成されやすい区間の抽出を実施し、次に当該区間における淵の量(面積および個数)を推定することによってハビタットの評価を行った。また、河床における細粒土砂の堆積が、河床への浸透流量の低下を引き起こし、サケ科魚類の卵の生残率低下につながる可能性が指摘されている<sup>12)</sup>。河畔林にはこのような土砂の河川内への流入を軽減する機能があることが知られている<sup>13)</sup>。河畔林が十分な土砂流入軽減機能を持つためには河岸からある程度の幅が必要であり、それは河岸の勾配に依存する<sup>14)</sup>。よって、土砂流入量の評価は、当該区間における河畔林の有無と、兩岸の河岸勾配を組み合わせ実施した。上記の内容の詳細を以下より述べる。

#### 地形条件による産卵可能区間の抽出

河川の状態を示す代表的な概念のひとつとして、Pool-Riffle, Step-Pool, Cascade等の区間タイプが挙げられる。定性的な分類方法であるが、河川の物理環境を把握するには有用な分類方法であり、たとえば、区間タイプ別の河床勾配の頻度分布には明瞭な傾向があることがMontgomery and Buffington<sup>15)</sup>によって示されている。サクラマスが産卵場所として好む、“淵尻”は、瀬淵構造が明瞭なPool-Riffleタイプ区間において形成されやすい。北米太平洋側地域に分布する河川の調査結果から、Pool-Riffleタイプと分類されたほとんどの河川区間が河床勾配4%以下である<sup>14)</sup>ことが報告されている。

また、サクラマスが好む産卵場所の水深は0.10-0.45m程度とされている<sup>16)</sup>。河道の横断形状を示す指標である河道満杯流量時の水深に対する水面幅の比が、流出河川において11.56 (± 1.98SD)<sup>10)</sup>程度であるとの報告から、そのような水深を持つ河川の水面幅は5-6m以下であると推測される。前述した河道幅/水面幅比を考慮すると、河道幅が10m以内の場所に水深0.45m以下の淵尻が成立することが予測される。よって河床勾配4%未満かつ河道幅10m以下の区間を産卵可能区間として抽出した。

#### 河道屈曲度評価による淵量の推定

河道の屈曲度と淵の個数および面積には正の相関があることが指摘されている<sup>10)</sup>。よって河道の屈曲度から、サクラマスが産卵場所として好む“淵尻”の出現頻度評価が可能であると考えられる。そこで、河川ネットワークデータをもとに河道の屈曲度を図4で示す手法で定義し、パラメータ化を実施した。

#### 細粒土砂流入ポテンシャルの評価

ALOS画像の画像分類結果より作成した河畔植生および土地利用図から、河川ネットワークデータポリラインより兩岸1ピクセル分のデータを抽出し、流路延長100m区間毎の河畔林カバー率を算出した。また各区間の中間点から

兩岸に向かって100mの横断側線を出力し、測線上の標高値をDEMより抽出することで河岸勾配の算出を行った。

## 2.4 生息適地と遡上可能域のギャップ分析

### 2.4.1 遡上可能域の決定

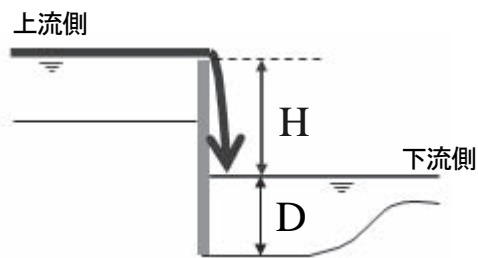
河川横断構造物における遡上可否条件を図5に示す。魚類の遊泳速度のうち突進速度(Darting Speed)は、体長×10/s程度が目安とされている<sup>17)</sup>。尻別川に遡上するサクラマスは雌で0.55-0.60m程度<sup>18)</sup>であるため、その突進速度は5.5-6.0m/sと推定される。Bell<sup>19)</sup>によって報告されている、マスノスケ、ギンザケ、ベニザケの突進速度は、上記の推定値とほぼ同様の値を示している。また上記3種の最大跳躍高は、2.1-2.4m<sup>20)</sup>と算出されている。よってサクラマスも同様の跳躍能力を持つことが予測される。本研究ではこの最大跳躍高の3/4程度である水面落差(H)1.5mを遡上可能閾値とした。さらに、Hが1.5m未満の場合でも、水面落差に対する下流側の水深比(D/H)が1.25を下回る場合は遡上不可とした。これは、高い跳躍を行うためには十分な水深が必要であること、さらに、D/Hがこの値を超えると構造物下流側の水中に上昇水流が生まれ、これを利用して遡上率が上昇するとの報告<sup>21)</sup>を元としている。また、D/Hが上記の値を下回っても、自身の体高よりも深い水深であれば遊泳が可能となり、浅い角度で跳躍することが可能と考えられる。サクラマスの体高比(体高/体長)は、0.2-0.3程度<sup>22)</sup>であることから、平均的な体高は0.11-0.16m程度と考えられる。よって水深Dが0.15m以上あり、水面落差が0.70m以下であればD/Hが1.25を下回っても遡上可能と設定した。なお、対象構造物に魚道が設置されている場合は、無条件で遡上可能とした。この閾値を河川ネットワークデータに入力し遡上可能域の探索を行った。その出力結果を図6に示す。流域の河川流路総延長1348kmのうち遡上可能流路延長は744kmと算出された。

### 2.4.2 産卵可能区間抽出と結果の検証

産卵可能区間の抽出結果を図7に示す。他の支流域と比較して河川横断構造物が少ない昆布川流域内において、産卵床分布調査結果を用いて区間抽出結果の検証を行った。その結果75%の産卵床が抽出結果の近傍100m以内に分布していたことから、地形条件による産卵可能区間抽出はある程度の妥当性を持つと考えられる。

### 2.4.3 抽出区間内のランク付け

前項で抽出した産卵可能区間内における産卵適地のランク付けを、淵量(河道の屈曲度)および微細砂流入量(河岸勾配および河畔林率)を説明する各パラメータより試みた。河道の屈曲度は、その値が1.4以上になる河道には、1蛇行波長内に2個以上の淵が形成される<sup>7)</sup>との報告を参



水面落差  $\geq 1.5\text{m}$  → 遡上不可  
 水面落差(H)  $< 1.5\text{m}$  かつ 水深(D)/水面落差(H)  $\leq 1.25$  → 遡上不可  
 但し、上記に関わらず  
 水面落差(H)  $< 0.7\text{m}$  かつ 水深(D)  $> 0.15\text{m}$  → 遡上可

図5 河川横断構造物における遡上可否条件

表1 河道の屈曲度得点表

河道の屈曲度	得点
1.4<	3
1.2-1.4	2
1.0-1.2	1

表2 河岸勾配および河畔林率を元にした得点表

河岸の勾配	河畔林率	得点
10%未満	50%以上	3
10%以上	50%以上	2
10%未満	50%未満	2
10%以上	50%未満	1

考に、3段階のランク付けを実施した(表1)。また河岸勾配が10%を越えると、微細砂捕捉機能を持つために必要な河畔林帯の幅が増加する<sup>14)</sup>との報告から、10%を境に2つのランクに分類した。これに、河畔林率が50%を超えるか否かを組み合わせて3クラスに分類した(表2)。

### 2.4.4 ギャップ抽出

産卵可能区間に遡上可能域をオーバーレイし、産卵可能区間かつ遡上不可である範囲の抽出を行った。図8の抽出結果より、図中のAおよびB地域が、サクラマスの産卵環境としてのポテンシャルが高いものの横断構造物によって遡上を阻害されている地域と判定できる。よって、尻別川流域内でサクラマス産卵環境の復元事業を行うには、この2地域が、費用対効果が高く優先順位が高い地域と考えられる。

## 3. おわりに

今回、尻別川水系におけるサクラマス産卵環境の復元を

1つの事例として取り上げ、実際に事業を行う際の意思決定支援を目的とした解析を試みた。その結果、2つの地域を施策実行の候補地として選定することができた。今後さまざまな水生生物の生息環境復元を試行する際には、本報告において示したような広域的な事前評価を実施し、流域内の地域に優先順位を付けることが施策の効果をより高めるために必要と考える。このような試みが各地で実施可能なように、基盤GISデータの整備と、事例の積み重ねによるパラメタライズ手法のブラッシュアップが必要である。

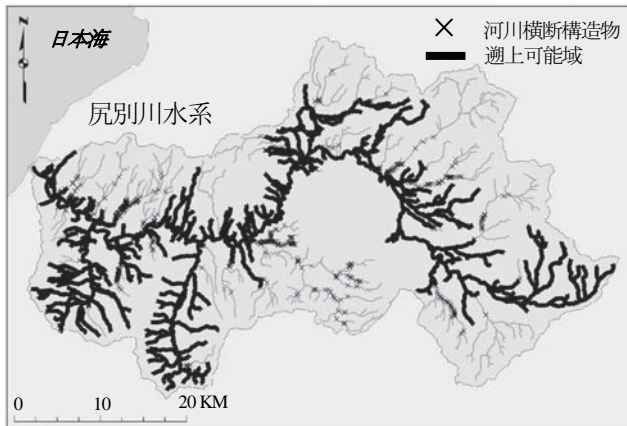


図6 遡上可能域抽出結果

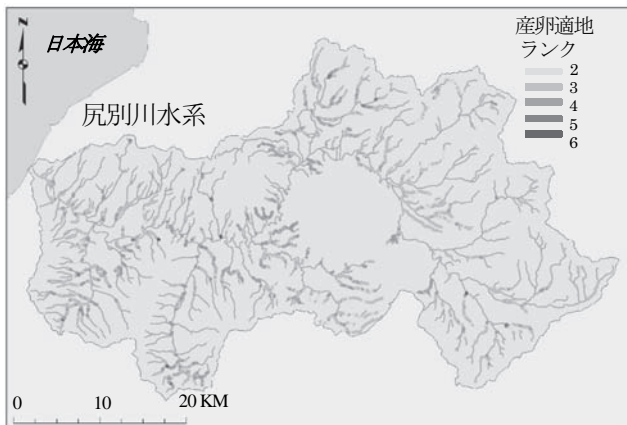


図7 サクラマス産卵適地抽出結果

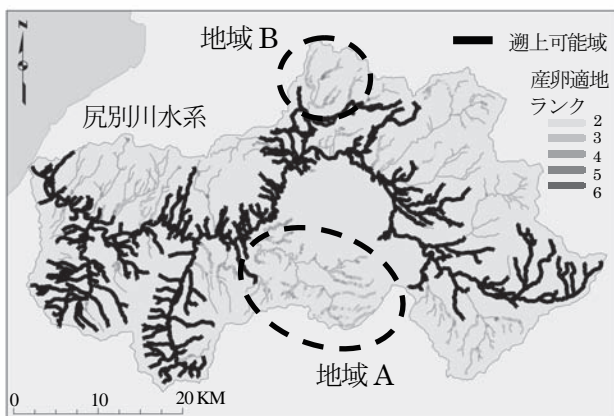


図8 ギャップ抽出結果

謝辞：魚類分布情報（H-fish）の使用に関して、国立環境研究所の福島路生研究員の、また、衛星画像分類の実施に際し、教師取得用オルソ航空写真の使用に関して北海道工業大学の柳井清治教授のご協力をいただきました。ここに申し上げます。

#### 4. 参考文献

- 1) Negishi, J., Inoue, M. and Nunokawa, M. : Effects of channelisation on stream habitat in relation to a spate and flow refugia for macroinvertebrates in northern Japan. *Freshwater Biology*, Vol. 47, pp.1515-1529, 2002.
- 2) 渡辺恵三, 中村太士, 加村邦茂, 山田浩之, 渡邊康玄, 土屋進 : 河川改修が底生魚類の分布と生息環境におよぼす影響, *応用生態工学*, Vol.4, No.2, pp.133-146, 2001.
- 3) 中野繁, 井上幹生, 桑原禎知, 豊島照雄, 北条元, 藤戸永志, 杉山弘, 奥山悟, 笹賀一郎 : 北海道大学天塩・中川演習林および隣接地域における淡水魚類相と治山・砂防ダムが分布に及ぼす影響, *北海道大学農学部演習林研究報告*, Vol.52, No.2, pp95-109, 1995.
- 4) Fukushima, M., Kameyama, S., Kaneko, M., Nakao, K. and Steel E.A. : Modeling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology*, Vol.52, pp.1511-1524, 2007.
- 5) Doble, D.D., Hanrahan, T.P. and Geist, D.R. : Impacts of the Columbia River hydroelectric system on mainstem habitats of fall chinook salmon., *North American Journal of Fisheries Management*, Vol.23, pp641-659, 2003.
- 6) Inoue, M., Nakano, S. and Nakamura, F. : Juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*) abundance and stream habitat relationships in northern Japan. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, Vol.54, pp.1331-1341, 1997.
- 7) 山本晃一 : 「沖積河川学」, p133, 山海堂, 東京, 1994.
- 8) 山口甲, 新庄興, 三田村一弘, 上野順也 : 豊平川の生産土砂について, *土木学会北海道支部論文報告集*, Vol.55 (B), pp. 268-271, 1998.
- 9) Jenson, S.K. and Domingue, J.O. : Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, Vol.54, No.11, pp.1593-1600, 1988.
- 10) 三島啓雄 : 出水特性の異なる河川における河川地形と倒流木の相互作用, *北海道大学大学院農学研究科修士*

論文, 2002.

- 11) 杉若圭一, 竹内勝巳, 鈴木研一, 永田光博, 宮本真人, 川村洋司: 厚田川におけるサクラマス産卵床の分布と構造, 北海道立水産孵化場研究報告, Vol.53, pp.11-28, 1999.
- 12) 山田浩之: 細粒土砂堆積による河床構造及び河川生物相の変化機構に関する研究, 北海道大学学位論文, 2002.
- 13) Reid, L.M., Hilton, S.: Buffering the buffer, USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-168, pp.71-80, 1998.
- 14) 高橋和也, 林 靖子, 中村太士, 辻 珠希, 土屋 進, 今泉浩史: 生態学的機能維持のための水辺緩衝林帯の幅に関する考察, 応用生態工学, Vol.5, No.2, pp.139-167, 2003.
- 15) Montgomery, D.R. and Buffington, J.M.: Channel Processes, Classification, and Response: I. The physical environment. In Naiman, R.J. and Bilby, R.E. (Eds.): "River Ecology and Management", p37, Springer, New York, 1998.
- 16) 財団法人 北海道建設技術センター: 「川づくりのための魚類ガイド」, p29, 2001.
- 17) Bainbridge, R.: The speed of swimming of fish as related to size and to the frequency and amplitude of the tail beat, Journal of Experimental Biology, Vol.35, No.1, pp.109-133, 1958.
- 18) 大熊一正: 尻別川のサクラマスの性比、年齢および体長, 北海道さけ・ますふ化場研究報告, Vol.42, pp.37-47, 1988.
- 19) Bell, M.C.: Swimming Speed of Adult and Juvenile Fish: Chapter 6. In " Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria", p6.3, U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, 1991.
- 20) Reiser, D.W. and Peacock, R.T.: A technique for assessing upstream fish passage problems at small-scale hydropower developments, Symposium on small hydropower and fisheries. American Fisheries Society, Western Division, Bethesda, Maryland, pp.423-432, 1985.
- 21) Stuart, T.A.: The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions, Freshwater and salmon fisheries research report, 28, 1962.
- 22) 帰山雅秀: サケ属魚類の発育と成長4. 発育に伴う種間の形態比較, 魚と卵, Vol.161, pp.85-93, 1992.

**Parameterization of channel morphology and riparian vegetation to evaluate the habitat quality of aquatic biota and its practical application**

**Yoshio MISHIMA, Masayuki TAKADA,  
Konomi ABE, Yasuyuki MIYAKOSHI  
and Koichi URABE**

First, with the aim of evaluating freshwater habitat, geographic information system (GIS) databases of river systems, dams, geomorphology, and vegetation were created for the Shiribetsu river watershed, located in the southwest part of Hokkaido. Second, to test the practical application of these databases, parameterization of channel morphology and riparian vegetation were carried out as an attempt to evaluate the spawning habitat of masu salmon (*Oncorhynchus masou*). Third, a suitable habitat for spawning was extracted and rating from those parameters was examined. Finally, gap analysis was performed between the area of the suitable habitat and the available area for the fish migration. The result of this analysis enabled the prioritization of the restoration of the migration corridor for the anadromous masu salmon.