

瀬一淵の質に着目した生息環境評価法の提案

EVALUATION METHOD FOR FISHES FOCUSING ON RAPID-POOL CONDITIONS

知花武佳¹・玉井信行²

Takeyoshi CHIBANA, Nobuyuki TAMAI

¹学生会員 工修 東京大学大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

²フェロー会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科 (〒920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20)

PHABSIM is a powerful technique to evaluate fish habitats in rivers. The suitability for fishes in PHABSIM is denoted by velocity and depth independently. Therefore, it is insufficient to represent combined influences of these factors on fish habitats. In this paper, we established a new framework of the evaluation method focusing on a hierarchical structure of fish habitats considering landscape ecology.

At first, we evaluate the fish habitat using suitability criteria on a depth-velocity plane. Then we decomposed the study site into several sub-units and estimated suitability for each sub-unit paying attention to the riverine landscape in addition to the evaluation by the depth-velocity plane. Finally we evaluated the effect of flow regime and shoreline conditions on suitability of study areas in a conclusive part.

Key Words : PHABSIM, Hierarchical Structure of habitat, riverine landscape

1. 研究の背景と目的

河川環境に配慮した河川計画が進められるようになってきたものの、生息環境をどのように把握し、どのように保全していくかについては、未だ課題が多く残されている。このような背景の中で、定量的な生息環境評価法である PHABSIM (Physical Habitat Simulation)¹⁾ が注目されているが、水深、流速、底質という個々の因子ごとに対象魚の適性基準を設定するという単純な構造故に、生息場に求められる環境条件はうまく表現できていない。例えば、玉井²⁾ は河川の自然特性が 1) 自然の擾乱とその後の生態系の更新、2) 連続性、3) 河床形態の多様性、の三つに集約できるとしているものの、これらの特性を上記した個々の環境因子で表現するのは不可能である。このような背景を受け、PHABSIM の枠組みを利用しつつ、1) の自然の擾乱を評価に取り入れた研究³⁾ や、2) の連続性を評価に取り入れた研究⁴⁾ も見られるようになってきた。この中で、筆者らが着目しているのが 3) の河床形態の多様性、および 2) の中でもスケールの小さな、瀬、淵のユニットを対象とした連続性の評価である。

筆者らは既往の研究において、魚類が瀬一淵構造内で特定の部位を選好するという特徴に着目し、ウグイが選好している領域が季節変化、あるいは出水による地形変化によりどのように変化したかを解析することで、瀬、淵単位での評価を試みた⁵⁾。本研究では、扱うべき環境因子のスケールとその階層構造をさらに整理するとともに、これまで取り扱えずにいた定量化が困難な要素を、景相として判別し、その影響ごとに分類、評価をしていくこととする。

2. 対象区間の概要

本研究では、多摩川の本川、支川からそれぞれ一対の瀬と淵を含む 3 つの対象区間を設定し、それぞれ St.1, St.2, 及び St.3 と名付ける (図-1)。St.1 は、多摩川河口から約 52 km 上流付近に位置する約 210 m の区間である。本対象区間の直上流には羽村堰があり、ここでの取水のために流量が本来よりも著しく減少しており、洪水時を除き年間 2m³/s で一定という減水区間である。さらに、砂利採取及びダムや堰の影響を受け、河床低下傾向にある

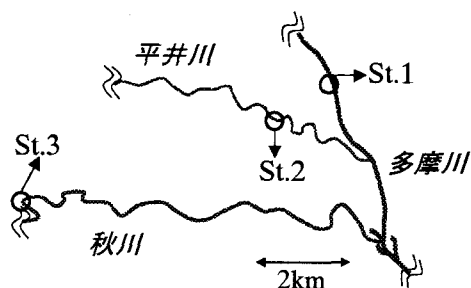


図-1 対象区間の位置関係

などさまざまな問題が指摘されている⁶⁾。ここでは、地形変化をもたらした1998年9月、及び1999年8月の出水前後の地形を検討することとする。St.2は多摩川支流の平井川に位置する延長約120mの区間である。本区間はやや河床勾配の緩い地点であり、流路は緩やかに蛇行しており、右岸には護岸が施されている。St.3は多摩川支流秋川に位置する延長約240mの区間であり、左岸にある岩盤にぶつかった流れはほぼ直角に曲げられている。内岸は河川公園として開放されているものの、大規模な構造物は設置されておらず、人為的な影響は少ない。減水区間のSt.1との比較のため、St.2, St.3では流量の少ないと思われる12月に調査を行った。

3. ウグイの適性基準の設定

まず、各対象区間を評価するために、ウグイの棲みやすさを示す適性基準を設定することとする。通常、適性曲線は、対象魚種ごと、環境因子ごとに作成されるが、例えば、水深平均流速30 cm/sの流れが魚に与える影響は、水深がどの程度の値を持っているのか、底質がどのような状況にあるのかといった他の要素によって変化するために、流速の適性基準のみで判断できる問題ではない。そこで、筆者らはこれらの相互作用を考慮し、水深を横軸に水深平均流速を縦軸に取った平面上で基準を与えるという手法を用いている⁷⁾。

これまでの研究において、ウグイの選好性として、①水深があまりに浅い場所では、普段の選好性は低い；②遅い流速と速い流速が隣接した場所を好む；といった特徴を取り上げ、評価を行ってきた⁸⁾。本研究では、さらに③外敵に追われたときに体を隠すことのできる避難場が必要である；④産卵場として利用可能な、適度に流れがある浅い礫底が必要である；⑤仔魚～未成魚（以下、幼魚とする。）が利用する岸寄りの、浅くて流れのない場の存在する所があった方がよい；の3つを加えることで、採餌場、避難場、産卵場、仔魚期の生息場といった、生活史を通した評価を目指すこととする。本節では各条件に対して、水深、流速に関連する適性基準を設定する。

まず、条件①に関しては、これまでのデータをもとに、その閾値がほぼ30 cm程度であると判断した。次に②であるが、鉛直水深方向に流速が変化している状態と、平面

的に流速が変化している状態の二通りのパターンが存在する。このいずれのパターンにおいても、流速の遅い方に定位し、時々流れが速い領域に移動して、浮遊物を採餌していると考えられる。

まず、鉛直水深方向の流速変化率について説明する。減水区間においては、淵の流れが淀み、ウグイが淵頭部に集中するという現象が報告されている⁹⁾。この“淀んでいる”か“淀んでいないか”の境目となる流速は、淵の規模によっても異なってくるために、水深が深い時には、それに伴って流速も適度に速くなければなるような基準を設け、鉛直水深方向に変化があるか無いかを判断する必要がある。

次に平面的な流速変化率である。筆者らは、ウグイが生息していた場所の水深、流速といった値は年間を通じてあまり変化しないものの、活動の中心が季節によって瀬であったり、淵頭であったり変化している点を見いだした⁹⁾。これは、ウグイの活性に伴い、鉛直方向にも平面的にも流速変化率の大きい領域（瀬）と平面的にはあまり流速が変化せず、鉛直方向に緩やかに変化する領域（淵頭）を使い分けているためと考えた。

これらより、ウグイの成魚の行動パターンとして1) 活発な時期には、平面的に流れが多様な瀬を中心に採餌を行っており、その中でやや流れの緩やかな領域から、時々その周囲にある速い流れの場所にアクセスして採餌する。2) 活性の低い時期には、平面的には流れがあまり変化しない淵の中で、河床近傍から表層へ向かっての緩やかな流速変化を活用し、時々表層部へ移動しながら採餌する。という二つを設定した。すると、瀬においては、流れの速い領域と遅い領域が混在するような状態が、淵においては、水深方向に流速が変化していくような状態が生息域に適した条件となる。これらを定量的に表現するために、水深-水深平均流速平面上で、ウグイが通常生息している領域（生息適性領域）、瀬にいるウグイが時々アクセスする流れの速い領域（高流速域）、減水区間の淵に見られるように変化に乏しく利用されにくい領域（停滞域）の3つを表現する。図-2はこれらの領域を水深-流速平面上に示したものである。PHABSIMとは異なり、0～1の中間の適性値は与えず、対象となるポイント

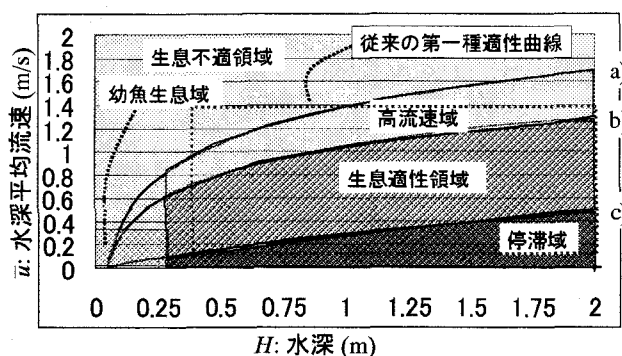


図-2 水深、流速に対するウグイの適性基準

の水深、流速がどの属性に属するかに基づき評価を行う。ここで、上述した領域は次のように設定した。まず、条件①に基づき水深の下限は 0.3m を設定し、図中の a)～c) の 3 本の曲線は以下のように導いた。

淵において流れが水深に応じた適切な範囲にあるか否かを分けている c) の曲線は、次式に従い導いた。

$$\bar{u}/u_* = 5.75 \log_{10} (H / ks) + 6.0 \quad (1)$$

$$u_* = \sqrt{gHI} \quad (2)$$

ここで、 $\bar{u}$: 平均流速、 H : 水深、 ks : 相当粗度、 u_* : 摩擦速度、 I : エネルギー勾配である。対象が淵であることを考慮して、 $ks=0.3m$ を仮定した。また、これまでのデータをもとに、 $I=1/10000$ 程度が妥当であると判断し、この値を代入して c) の曲線を得た。むしろ、現実の流れは等流ではないためこの式から算出される値は近似値であるが、水深方向に流速の変化があるかないかを決める一つの基準としては利用できると考えている。また、 Fr 数を用いて、瀬淵の状態を判別するという試みもなされているが^{8) 9)}、この場合 $Fr=0.1$ に相当する曲線がこの c) の曲線と極めて近い挙動を示している。

次に a) と b) であるが、ここでも流速分布は対数則に従うと仮定した。

$$u/u_* = 5.75 \log_{10} (h / ks) + 8.5 \quad (3)$$

ここで、 h : 河床からの高さ (0.1m)、 u : その位置での流速、である。また、ここでは早瀬であることを考慮して、 $ks=0.5m$ を用いる。a) と b) の基準として、河床近傍の流速に着目した。対象としているウグイ成魚のサイズを考慮して、河床から 10 cm 上に於ける流速を考え、生息適性領域の上限を 0.6m/s、アクセスできる高流速域の上限を 0.8m/s と設定した。ここで式(3)の h に 0.1m を、 u に上限となる流速を与えて求まる u_* を、式(1)に代入することにより、平均流速と水深の関係が求まり、曲線 a)、b) を描くことができる。これらも Fr 数を用いて表すならば、a) は $Fr=0.45$ 、b) は $Fr=0.35$ を示す曲線が比較的近いオーダーとなる。

条件③は主にカバーに関連するものであり、水深、流速の基準は設けない。④に関しては定量的なデータはないが、既往の知見¹⁰⁾によれば適度に流れのある浅い礫底の瀬が条件となる。同様に⑤に関しては、浅くて流れの緩やかな所が条件となる。そこで、本研究では簡単のため水深、および流速の条件は同じ値を設定しておく。ここで、水深一流速平面での表しやすさから、水深 30 cm、流速 30 cm/s を上限として、幼魚生息域を設定した。ただし産卵場としては流速が適度にある必要がある上、礫底など幼魚の生息域とは異なる条件が必要となるが、これらに関する定量的な条件設定は今後の課題とし、本論文では定性的な考察にとどめる。

4. サブユニットへの分割と適性基準の適用

本節では、設定した適性基準を各対象区間に適用していく。各区間では、それぞれほぼ等間隔に水深、流速を計測しており、魚類の分布調査もこれに対応する形で行われた。ここで、St.1 では縦断方向 15m、横断方向 5m 程度、St.2 では、縦断方向 6m、横断方向 2m 程度、St.3 では、縦断方向 10m (下流部一部 20m)、横断方向 7m 程度の環境をその中心部で計測した水深、流速により代表させる。今後はこの大きさを各対象区間におけるコドラートのサイズと定義し、前節において水深、流速に基づき分類された属性はこのコドラートごとに当てはめる。

ここで、たとえ属性が生息適性領域であっても、それがまとまって存在する場合と、点在している場合では状況が異なってくる。そこで、本節では対象区間をいくつかの小区間 (サブユニット) に分割し、それぞれの小区間がどのような属性のコドラートから構成されているかを考察しつつ、評価を行う。

まず、小区間の分割は河床勾配の変化点で縦横断に場を区切っていくという手法を用いた¹¹⁾。河道内で河床勾配が大きく変化する所では、河床材料のサイズ、状態も変化していることが多く、基本的には従来の瀬、淵をもう少し細かく区分したものである。ただし、連続的にその河床高が変化して判別が難しい時には、河床材料の状態や水深などから境界を判断している。各対象区間を分割した結果を図-3 a) に示す。太い実線が水際線を示しており、アルファベットが各小区間を示している。図-3 b) には各小区間において、どの適性基準に属するコドラートがどのように分布しているかを模式的に示している。

まず、出水前の St.1 の結果を見ると、瀬に位置する区間 A では、生息適性領域を中心に、所々高流速域が見られ、多様な環境が創出されている。次に淵に位置する B、C を見ると、B においては大半が生息適性領域となっているものの、C においてはほとんどが停滞域となっており、淵の中央部より下流では流れが淀んでいる様子が表現できている。これは減水区間においてウグイが淵頭部を選択する状況を表しているといえる。また、内岸部に位置する D の大半が、幼魚生息域となっている。

次に、St.1 の出水後の状況を見る。出水により砂州が平坦化したため、A、D が大幅に広がっている。A では生息適性領域が広がったものの、高流速域はあまり増えていない。D に関しても、広がった浅い部分に速い流れが生じており、増加したのは主に生息不適領域であった。また、流れが前縁線に沿って分散してしまったために、B における生息適性領域はほとんど停滞域と化してしまった。実際、B の利用個体数は出水後に減少しており、このような流れの停滞によるものと思われる。これらより、出水後の地形では、全体の適性領域は変化していないものの、淵における適性領域はほぼ消滅し、瀬の適性領域

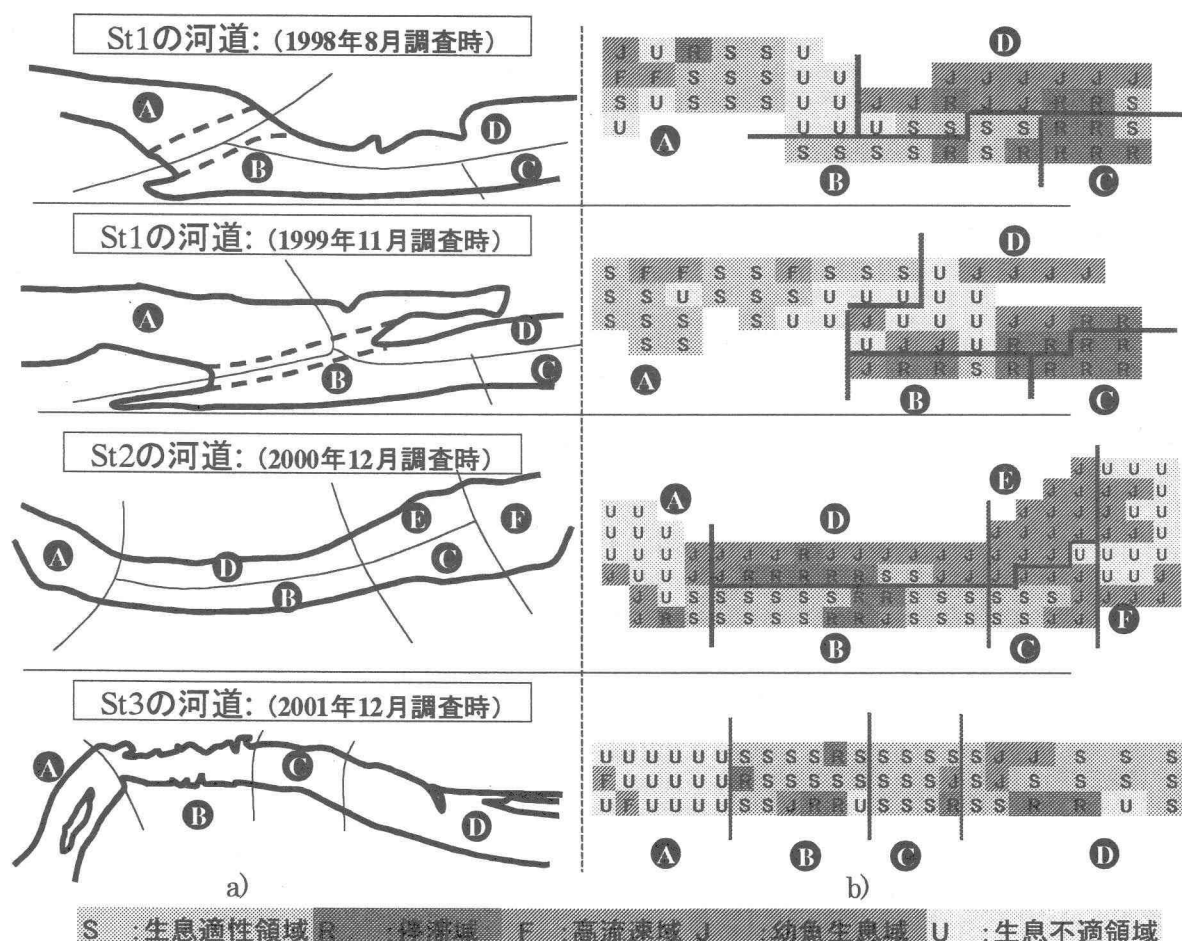


図-3 河道の小区間分割および、各小区間における属性の分布

a) 各対象区間における水際線の形状と小区間（流れはすべて左から右）

b) 各対象区間におけるコドラートの属性分布

のみが増加していることがわかる。瀬、淵の役割を考えると、環境は劣化したと言える。

次に St.2 の評価に移る。St.2 は 6 つの小区間に分割することができ、A と F が早瀬、C と E が平瀬、B は淵の滞筋付近、D は淵内岸の浅瀬であった。ここで、早瀬に属する A と F は岸際に幼魚生息域が見られるものの、水深は浅く、大半が生息不適領域となっている。一方、St.1 とは異なり、淵に位置する B では、中央部を除いてほぼ生息適性領域であり、平瀬の外岸に位置する C においても広い範囲で生息適性領域となっている。この区間では大半のウグイが淵の上流側に群れており、生息領域の分布は妥当であると判断した。また、内岸部は D, E 共に幼魚生息域が広がっているが、ここでは他の区間に比べかなり多くの幼魚が観察された。St.2 においては、瀬の水深が浅く生息不適となっているものの淵は停滞域とならず、生息適性領域が保たれている。一方、同じく流量の少ない St.1 では、瀬に十分な水深があっても、淵が淀んでおり、状態は全く異なっている。

最後に St.3 においては、A が早瀬、B が淵、C が淵と平瀬の間、D が平瀬に対応している。横断方向には明確な勾配の変化点はなかったため区分していない。ここでも

St.2 と同様に A の水深が浅くなり、生息不適領域となっているにもかかわらず、淵が淀むという現象は見られなかった。すなわち、おり瀬の水深が 30 cm を切る流量においても、淵をはじめ下流の平瀬に至るまで広い範囲で生息適性領域が広がっており、十分な流れが保たれている様子が見て取れる。また、幼魚生息域はあまり見られなかったが、幼魚は設定したコドラートよりも狭い岸寄りの限られたところを利用しているものと考えられる。

5. 景相要素の組み込みと対象区間の評価

ここまで、コドラートスケールと小区間スケールという二段階のスケールで定量的に場を扱ってきた。本節では、さらに水深、流速以外の要素を取り入れ、それぞれの対象区間を総括的に評価するとともに、実際の生息状況とも比較しつつ生息場特性の違いについて検討する。PHABSIM においては、底質、及び河岸の状態を、平均粒径やカバー率といった定量的な因子で表現しているものの、底質や河岸の状態を表現するには不十分である。そこで、前節で設定した水深、流速に基づく属性の分布に加え、流れの状態、河川地形、あるいは底質および河岸の状態

などとの相互作用を総合的に表していると考えられる、景相の解釈を加えて評価を行っていくこととする^{12) 13)}。また、面積格子法を用いて計測された小区間内の平均粒径も考察に加えていく。

まず、St.1は、出水後のB,C,Dにおいて、平均粒径にはあまり顕著な差は見られなかった。ただし、砂州の前縁線付近すなわち、Aとの境界付近でやや粒径が大きくなり、その直下流ではやや小さいという傾向も見られた。これらを考えると、属性が幼魚生息域と判断された所のうち、適性領域に接するようなやや流れのある場所は産卵場として利用可能であると判断できる。データの無い出水前に関しても、記録によれば、おおよそ同じオーダーであったことが推測される。一方、Aでは、大半が玉石、巨礫であり他の区間より明らかにサイズが大きい。この礫は経年的に見ても少々の出水では移動しておらず、昔の大規模なイベントにより生じた礫がここに堆積したままになっていると考えられる。その結果、高流速域や生息適性領域、及び生息不適領域の混ざった多様な流れが安定的に形成されている。また、大半が浮き石となっており、外敵からの避難場も確保されている。このように巨礫の堆積が、ウグイにとって好適な環境を生み出したといえるが、自然の擾乱や生態系の更新と言ったものはいっさい考慮しなかった場合の話である。同様に、Dには幼魚生息域が広がっており、幼魚の生息には適切であると考えられるが、実際は長期間同じ流況が継続するために、しばらく出水がないとデトリタスが堆積し産卵場としても生息場としても不適切な環境となる。出水後には、淵の部分で局所洗掘が生じ、流れが偏ったために、この傾向はより顕著となった⁹⁾。実際の分布と比較すると、出水前後共に、8割前後のウグイが小区間Aを利用しており、評価は妥当であったと考えられる。一方、出水前には15%程度の個体が生息していた小区間Bでは、出水後の同じ時期においても7%以下の個体に利用されるにとどまった。このことは、前節で述べたように、出水に伴う地形変化により淵が停滞域となったためであると考えられる。また大半の仔稚魚は、年間を通して小区間Dを利用しており、評価は妥当であると考えられる。

次にSt.2に移る。まずAは、前述したとおり大半が生息不適領域となっている。ここの平均粒径は50mmと粗めであり、岸際の幼魚生息域は、産卵場としても用いることができるものと考えられる。また、10cmを越える大きさの礫も多く、体サイズの小さな魚が避難するには十分なサイズの礫であると考えられる。観察によれば、この区間は生息不適とはなっているものの、若干ウグイが確認されている。これは、礫によるカバーや、緩流部の創出に伴い、ウグイに棲みやすい環境が創出されたものと思われる。幼魚生息域が広がっている内岸部のD,Eでは平均粒径が約15mmと小さい。これは、内岸部という場所に加え、河岸に繁茂しているツルヨシが細粒分をため込

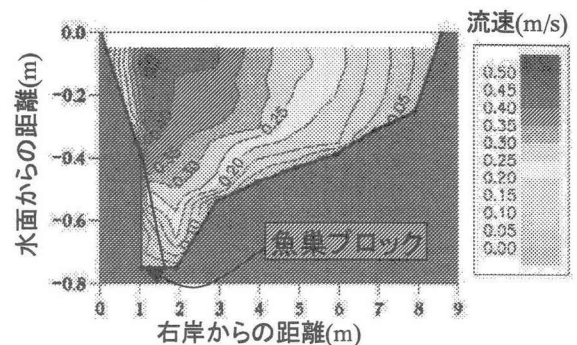


図-4 St.2の淵断面内流速コンター図

んだためと考えられる。ここでは、このツルヨシによるカバーの効果もあり、幼魚にとって良好な環境であると評価される。実際他区間と比べてもかなり多くの仔稚魚が確認された。この対象区間で最も多くウグイが確認されたのは、Bにおける生息適性領域の中でも護岸下部に設置された魚巢ブロックの周辺であった。これは、水深が深いことにもよると思われるが、図-4に示すような断面内の流速分布が生じており、魚巢ブロックの中の緩流部とブロックの出口付近の間で流速に変化がついたことも原因として考えられる。逆に表層の河岸はコンクリートで粗度が小さいために緩流部は現れず、カバーもないためあまり選好されないと考えられる。Cは淵尻であり、平均粒径は40mm程度とやや大きい、浅くなるために適性領域の占める割合は減少する。また、河岸も単調な護岸であり、変化に乏しい。個体密度はAと同程度で、Bの半分程度であった。水深は浅いが、礫サイズがカバーの役割を果たすという点では、共通するものがある。

最後にSt.3について検討する。ここでも、Aの水深は浅く全体的に生息不適となっている。しかし、平均粒径は90mm程度と大きく、浮き石帯となっており、流量が増えれば平面的に多様な流れ場が創出されると同時に避難場も確保されると思われる。礫サイズは周囲と同程度であり、St.1のような局所的な堆積ではない。Bでは、平均150mmの礫がはまり石かおり石の状態で存在した。また、所々に岩盤が露出しているために、地形には凹凸が多く、河岸沿いに形成された広い止水域には河畔から供給される落ち葉がたまっていた。筆者らが観測を行った冬季には多くのウグイが止水域の落ち葉だまりに潜るという行動が見られ、活性の低い時期には生息適性領域ではなく、このように付随する止水域が選好されると思われる。Cの礫径はAと同程度であるが、水面勾配がやや緩やかな、平瀬的環境である。そのため、渇水時においても水深は保たれ、適性領域が広がっている。Dでは水面幅が広がり、やや単調な流れとなるものの、所々岩盤の露出も生じており多少の緩急がある。ここでの幼魚生息域は岩盤であるため、産卵場として利用できるものではない。また、この区間の左岸下流部には一部St.2と同形態の魚巢ブロックが設置されているものの、落ち葉だまり

表-1 流量減少時に各対象区間で利用されと思われるサブユニットとその状態

	流量減少時に安定的なサブユニット	その中で流れに変化を付ける要素	幼魚生息域の状態	生息場のボトルネック
St.1	平瀬, 早瀬	巨礫, 玉石	中礫, 粗礫	淵における停滞域の減少
St.2	淵	魚巣ブロック	ツルヨシ, 砂	外岸表層の速くて開けた流れ
St.3	淵, 平瀬	岩盤	河岸沿いの狭い領域	限定された幼魚生息域

で見られたような群は確認されなかった。

これらをまとめたものが表-1である。減水区間の St.1 と他区間の渇水期では、同じように流量が少なくても安定的に存在できるサブユニットが異なっている。また、他区間と異なり、St.1 の流量は年間を通して一定であるために、淵の停滞域をなくするような流量を目標として設定することができる。ただし、出水後の平坦化した地形に対しあまり大きな流量を与えた場合幼魚生息域は失われる可能性が高いために、流量のみならず地形もまた淵の質を維持する上では重要な要素である。また、いずれの区間においても適性領域が瀬-淵双方に生じていることはなかったが、活性が落ちてくると淵を利用しがちになることを考えれば、冬季の渇水時には淵で適性領域が保たれる方が良いと考えられる。さらに、時間的な要素も考慮すれば、幼魚生息域はデトリタス、シルトの堆積しやすい環境でもあるため、流量の固定化は時に相当な悪影響を及ぼすと考えられる。

St.2 では、魚巣ブロックが流速に変化を付けるという意味では効果が見られたものの、表層付近には緩流部が現れず、カバーも無いために底層付近しか生息できない。また、冬季には St.3 で見られたような、まとまった止水域が選好されることを考えれば、魚巣ブロックだけではなく、落ち葉が堆積するような止水環境を創出する凹凸のある河岸が望まれる。

St.3 では、St.2 のような片ばれ型の断面を有していないために幼魚の生息域があまり見られなかった。しかし、今回はコドラートのサイズも大きく、河岸沿いの微生息域は把握できていないので、岸際に点在する狭い幼魚生息領域をどのように評価するかは今後の課題である。

さらに、生息不適領域となっても、礫の大きな瀬においては数尾の魚が確認されているために、今後さらに適性基準の調整を行っていく必要がある。

6. まとめ

本研究では、PHABSIM をベースとした定量的評価法と景相要素の評価を組み合わせた手法を用いて、減水-非減水区間の比較を行った。その結果、渇水期の他区間と比べても減水区間の淵の質が劣化している様子や、河岸の状態に関する問題点をまとめることができた。今後、景相の捉え方についてはさらに検討を進めていきたい。

謝辞：本研究は河川生態学術研究会の研究の一環として行われたものである。魚類データを提供していただいた上に、いろいろとアドバイスをいただいた君塚芳輝氏を始め、関係者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) アメリカ合衆国内務省・国立生物研究所 (テリーワドゥル・中村俊六訳)：IFIM 入門，財団法人リバーフロント整備センター，pp.145-150，1999.
- 2) 玉井信行：21 世紀の河川改修に求められているもの，国づくりと研修 第九十一号 pp.12-15，2001.
- 3) 田代喬，辻本哲郎：河床攪乱頻度を指標とした生息場評価による瀬・淵構造の変質に関する考察，水工学論文集 第 46 巻，pp.1151-1156，2002.
- 4) 真田誠至，藤田裕一郎：水系の連続性を考慮した魚類生息空間評価に関する調査，水工学論文集 第 46 巻，pp.1157-1162，2002.
- 5) 知花武佳，玉井信行：生息域の季節変動に着目した魚類生息域適性基準に関する研究，水工学論文集 第 46 巻，pp.1145-1150，2002.
- 6) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究—永田地区を中心として—，2000.
- 7) 沼田真監修，水野信彦，御勢久右衛門：河川の生態学，築地書館，pp.200-207，1995.
- 8) 野上毅，渡邊康玄，中津川誠，長谷川和義：急流河川における生息場としての河床地形区分，水工学論文集 第 46 巻，pp.1127-1132，2002.
- 9) 土屋十圓：都市河川の総合親水計画，信山社サイテック，pp.135-164，1999.
- 10) 中村俊六：IFIM (正常流量増分法) をベースとした河川生態環境評価法に関する研究，平成 7 年度～8 年度科学研究費補助金研究成果報告書，1997.
- 11) 知花武佳，玉井信行，黒田直樹，鈴木一平：河床勾配で区分される小区間に着目した魚類生息環境評価に関する基礎的研究，第 56 回年次学術講演会講演概要集 第 II 部門，2001.
- 12) 沼田真編：景相生態学，朝倉書店，1996.
- 13) 辻本哲郎：河川景観の変質とその潜在自然への回復，第 4 回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集，pp.147-152，1998.

(2002. 4. 15 受付)