

魚類等の生息環境における流れの多様性

北海道開発局開発土木研究所 馬場 仁志・船木 淳悟・巖倉 啓子

1. はじめに

生物の生息環境にとっては、流水の状態および流水空間の多様性（以降「流れの多様性」とする）が重要な生活環境の形成要素であり、特に魚類の生息に関しては、水面上のカバーや底質状況を含めた微環境とその配置様式が大きく関与している¹。微環境における流れの状態とその配置様式を、生物生息環境に作用する機能に着目して計測するには、複雑な流れを補足可能な次元の高い計測技術が必要である。

筆者らは、北海道内の一級水系 13 河川における魚類・底生動物の生息実態調査および流況測定結果と、豊平川における魚類生息環境調査と乱流および動水圧の測定結果から、魚類や生物の生息環境と流れの多様性との関係について複数の知見を得た。

2. 魚類と底生動物の生活場と流れの多様性（広域調査結果から）

複数の異なる河川環境に生息する魚類・底生動物の生息密度調査と同調査地点における水理環境の計測を、北海道内の 9 水系 13 河川の計 52 地点において 1996 年 7 月に行った。確認された魚種は 8 目 10 科 31 種で、主な捕獲魚種としては、ウグイ、エゾウグイ、フクドジョウ、ウキゴリが多く、一部の河川ではサクラマスが捕獲された。すべての調査地点で生息が確認されたのはウグイ類、フクドジョウであり、これら 2 種の占める割合が捕獲数の半数を超える調査地点が 10 箇所ある。

魚類捕獲調査を行った地点の中心から半径 5m の円で囲まれる範囲内における流水の理学的指標として流速、水深の最大値、最小値およびその差（流速幅、水深幅とする）を用いると、ウグイの生息密度との関係からウグイの生息に適した流れの特性を表現することが出来る。

範囲内の最大流速・最低流速とウグイの生息密度を比較すると（図 - 1 左）、最高流速が大きい空間（2m/s 弱）で生息密度が高い場合が多い。また、最低流速については流速の小さい空間に生息密度の高い場が分布している。これは、瀬の出口のエディー上流端やホールのような乱流近傍などに、ウグイが集中して観察されていることを反映している。流速幅と生息密度の関係から表現すると、流れの緩やかな部分と早い部分が混在した空間は、ウグイの生息密度が高くなりうる空間である。

同様な手法で、底生動物の生息密度を解析した（図 - 1 右）結果、ウグイの生息環境とは逆のパターンが得られた。最高流速と生息密度の関係では、最高流速が小さい空間で高い生息密度が観測されている。また最低流速に関しても同様に、小さい流速の環境に生息密度の高い底生動物の分布が観測されている。

魚類と底生動物とでは、全く異なる流れの場を選択していることは、生物種の生息空間に対して、流れの多様性が生活史の各段階における棲み分けの場を提供していることを示唆している。

昼と夜の生息空間の違いについてもウグイに関して解析した結果、流速の小さな空間では夜になると生息数が増加し、最小流速の大きな流れの強い空間では昼になると生息数が増加する（図 - 2）。また、夜の生息環境では、流速幅の大きな流れの場にも生息空間が広がっており、完全な静水よりは近傍に流れがある空間を好むものと考えられる。

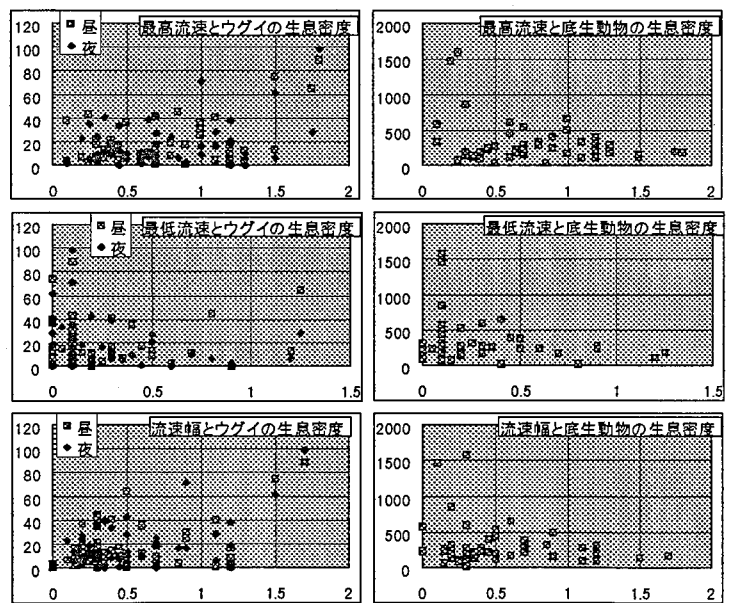


図 - 1 流速関連指標（横軸：m/s）とウグイおよび底生動物の生息密度（縦軸：生息数/プロット）との関係

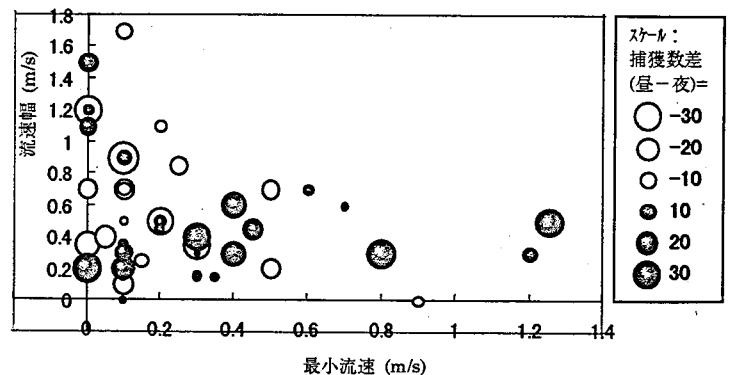


図 - 2 流れの状態と昼と夜の捕獲数の差（ウグイ）

3. 乱流構造および動水圧と魚類の行動との関連性 (集中調査結果から)

より詳細な流れの多様性を計測するために、筆者らは3次元流速計と動水圧計を用いて、典型的な魚類生息環境における流れの場の計測を行なった。動水圧は、魚類が流れを選択する、あるいは流れに反応する際の流水の理学的刺激には、流速・流向だけではなく、乱流や空間の微地形により生じる微細な水圧変動も含まれているとの予測をもとに計測を試みたものである。

調査地点は石狩川支流豊平川にかかる環状北大橋下流 (Kp10.2km) 左岸の近自然工法 (1996年度工事、木工沈床など) 施工個所で、施工後1年以上を経て中州の形成や河岸の土砂堆積・洗掘などが落ち着き、魚類の生息環境として良好な地点である。現地計測に先立ち、潜水およびビデオ観察による魚類の生息状況の確認を行ない (1997年10月30~31日)、ウグイ類、遡上中のシロザケ、フクドジョウ、ウキゴリ、スナヤツメの5種を確認した。

計測区間最上流側の流心 (図-3上) では河岸方向に偏流し、流速ベクトルの振動 (サンプリング周波数=1Hz) は小さいが、その下流側では左右に細かく振動している。河岸よりの木工沈床の背後部 (図-3下) では、大きなエディーが形成されており、岸から流心に向かう流速 0.1~0.2m/s の流れが計測されている。

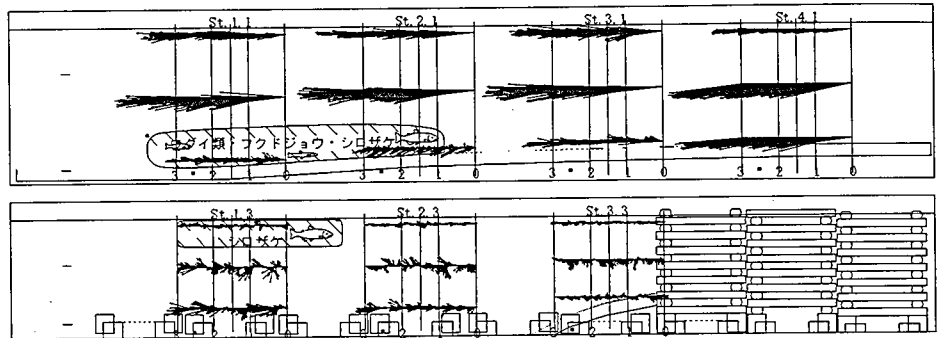


図-3 流速ベクトル時系列: 流心部の縦断面図(上)、エディーの縦断面図(下)

この流速ベクトルは、変動周期 20~30 秒でゆっくりと変動しており、目視によるボイルの発生周期とほぼ一致している。参考までに、大規模渦の発生によるボイルの周期を Jackson の式 ($T \cdot U_{max} / h = 7.6$) で計算すると、 $T=15 \sim 30$ sec となる。

シロザケ、ウグイなどがホバリングしていた空間は、変動を伴う流れの中でも最も流速の小さなエリアであり、流心部の底層においては、砂礫が洗掘された局所的な深みになっている。河岸よりでは流速ベクトルが不規則に変動するエリアの表層部の静穏な空間でホバリングしていた。

動水圧測定値からエネルギースペクトルを求めた結果 (図-4)、魚類の遊泳空間と周辺の空間とでは、スペクトル密度分布形に明確な違いが見いだされた。シロザケが遊泳していた空間では、1Hz 以下の低周波成分が若干高い以外は、動水圧のスペクトルは水面上のコントロールデータと差がない (静穏)。しかし、この空間を取り囲む上下左右の空間では、1~20Hz 付近の周波数帯で高いスペクトル密度が存在し、スペクトルの傾きは、-1.5~-2.0 程度である。

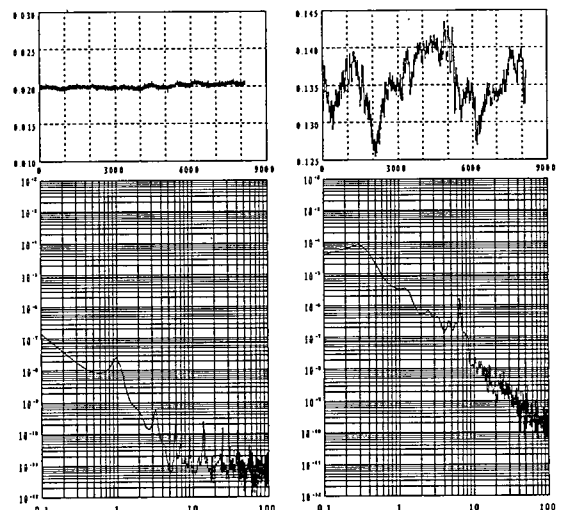


図-4 魚類遊泳空間(左)と周辺乱流部分(右)の動水圧およびエネルギースペクトル

一般に乱流粘性理論から導かれるエネルギースペクトル (Heisenberg) は、慣性小領域において周波数の $-5/3$ 乗則を満たすことが知られているⁱⁱ。実河川の乱流においては波数成分間のエネルギー伝達を通じて乱れエネルギーの拡散が生起しており、木工沈床などの河床地形によって生み出されたエネルギーの高い領域から、局所的には等方性乱れの領域を経て伝達されるエネルギーが静穏域で減衰していると考えられる。

$1/f \sim 1/f^2$ 型のスペクトルをもつゆらぎ現象は、自然界に数多く見られ、その傾きによって、快適~不快などの人間をはじめとする生物の感覚が支配されることが明らかにされているⁱⁱⁱ。流速・流向の変動が魚類の行動基準に影響すると考える場合、魚体の異なる部分で感知する流体圧力の差、およびその周波数成分が、行動基準を左右する刺激を与えていると推測される。これらのことから類推すると、今回の測定で得られたエネルギースペクトルの傾き=水圧のゆらぎが $1/f$ に近いスペクトルの空間は、静穏、 $1/f^2$ に近いスペクトルの空間は、激しい乱れとしての刺激を与えていると思われる。しかし、魚類の感覚および空間選択の嗜好に対する動水圧やスペクトル型の具体的な意味については、今のところ不明である。

ⁱ 井上幹生・中野 繁(1994): 小河川の物理的環境構造と魚類の微生物場所。日本生態学会誌, 44, pp151-160, 1994

ⁱⁱ 巽 友正(1986): 乱流現象の科学。東京大学出版会, pp165-221

ⁱⁱⁱ 武者利光(1980): ゆらぎの世界 自然界の $1/f$ ゆらぎの不思議。講談社ブルーバックス