

13. 2 河川工事等が野生動物の行動に与える影響予測及びモニタリング手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：天野邦彦、傳田正利

【要旨】

本研究では、野生動物の行動追跡データと物理環境条件の因果関係を把握し、物理環境条件から野生動物の行動予測手法を開発することを目的としている。平成 19 年度は、野生動物自動追跡システム (Advanced Telemetry System: ATS) のデータをもとに、魚類行動と物理環境の因果関係の解析を行った。その結果、魚類は、平時において、供試魚は約 4000 m³を行動圏として活動し主に深部を利用していた。利用した空間の流速、水深はそれぞれ約 0.6m/s、約 0.5mと一定の範囲の水理特性を持っていた。これに対して、出水時においては、供試魚は流量増加に伴う流速変化に対応し、流速の遅い場所を選択し下流への流下を回避する行動をとることが明らかになった。しかし、著しく流速が増加すると、河岸沿いや高水敷上の低流速域を利用しながら下流側の深部へ移動した。

キーワード：野生動物、行動追跡、物理環境、テレメトリ

1. はじめに

平成 19 年度は、野生動物の行動と物理環境の関係を分析するため、信濃川水系千曲川で追跡した出水時の魚類行動と物理環境（流速・水深）の関係性を分析し、物理環境から野生動物の行動を予測する手法の基礎的な検討を行うことを目的とする。

2. 研究の方法

2. 1 調査地の概要

調査は 2005 年 2 月から 2005 年 8 月にかけて、信濃川水系千曲川で行った調査データを使用した。本河川は流域面積 7163km²、流路延長 214km の大河川であり甲武信ヶ岳（標高 2475m）から長野盆地を流下し新潟県境に入り信濃川と名前を変える。調査地は千曲川の中流部に位置する鼠橋付近（長野県埴科郡坂城町、東経 138° 12' 4.6"、北緯 36° 25' 14.4"、以下、調査地とする）で行った。調査地の概要を図-1 に示す。調査地は長野県境から 95.6km～97km 区間で、流域面積 2560km²、河道幅約 100m、河床勾配 1/200、河道両岸に築堤が行われている区間である。

調査地の河床は、主に礫で構成され河床波形態は複列砂州であった。礫の主要構成材料は 20～200mm、d₅₀=100mm、最大粒径 200～300mm 程度である。右岸側には本流と比高

差が小さく年に複数回冠水する高水敷、左岸側には本流と比高差が約 3m 程度あり 2～3 年に 1 回程度冠水する高水敷が形成されている。

2. 2 現地調査の方法

千曲川では 2004 年 12 月から 2005 年 6 月末まで、小規模な出水（約 50m³/s）を記録しているが目立った出水は記録されていない。7 月 4 日には調査地点で流量約 380m³/s の出水が確認された。本研究で出水とは、調査

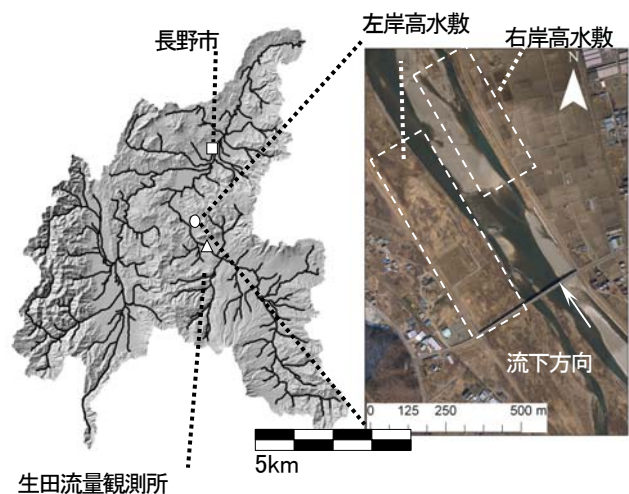


図-1 調査地の概要

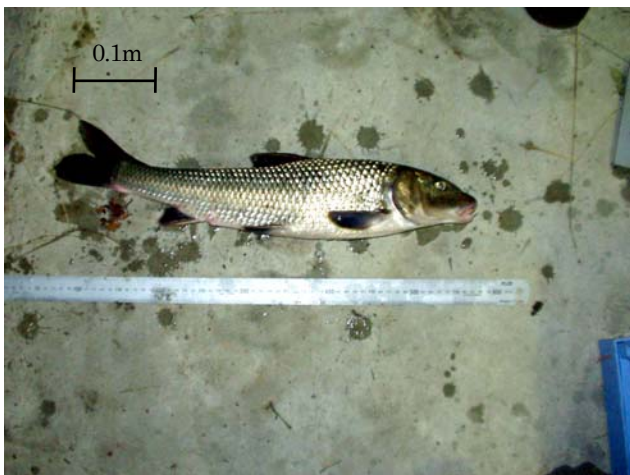


図-2 供試魚の概要

日近傍の流量に対して著しい流量増加が生じた場合でピーク時の流量が流量増加前の平均流量に対し、約2倍の増加が生じた場合を出水とした。調査地では、出水1(3月18~20日:最大流量58m³/s)、出水2(3月23~28日:最大流量57.8m³/s)、出水3(7月4~9日:最大流量388.34m³/s)を出水とした。調査地ではウグイ、オイカワ、ギンブナ、アブラハヤ、ニゴイ、モツゴを主とする10科24種の魚類が確認された¹⁾。本流ではウグイ、オイカワが優占し、一時的水域(Temporary Water Area:TWA、以下、TWAと記述する)ではアブラハヤ、ギンブナ、トウヨシノボリ、ドジョウ、ニゴイが本流よりも多く確認された。ギンブナは本流、TWAともに生息が多数確認されている。

2. 3 魚類行動追跡方法

調査地において、ニゴイ(*Hemibarbus labeo barbus*、以下、供試魚)を投網(目合:18mm)を用いて1匹採集した。図-2に供試魚の写真を示す。供試魚は、全長46.7cm、体長41.3cm、湿重量1195gであった。採捕後、濃度約5%に調整した麻酔薬(田辺製薬株式会社製魚類・甲殻類用麻酔薬FA-100)で満たしたバケツ内に供試魚を入れて麻酔をかけた。その後、十分な麻酔状態になるまで観察し麻酔状態を確認後、供試魚の腹腔内をメスで開き、電波発信機を埋め込み外科手術糸で縫合した。縫合後、供試魚は麻酔薬が混合していないバケツ内で養生し麻酔から覚醒するまで、安静化をはかった。

供試魚を調査地内の河川に設置した生簀に放流前日16:00に入れ放流日午前10:30まで蓄養し調査地の水への適応をはかった。供試魚の移動追跡は、ATSで行った。測定間隔は約3分に1回の割合で測定した。2005年2月23日~8月7日までの約5.5ヶ月間、供試魚の行動

を追跡した。

2. 4 データ解析

2. 4. 1 流量観測所水位データと調査地の流量の水位—流量曲線の作成と流量発生頻度の算定

調査地の流量を算定するため、最寄りの流量観測所である生田流量観測所の水位データ(h)から調査地の流量(Q')のh-Q'曲線を以下の手順で作成した。①2000年~2003年までの生田流量観測所のh-Q(但しQは生田流量観測所の流量)曲線を作成した。②GISにより生田流量観測所と調査地の流域面積を算出し流域面積比を算出した。③生田流量観測所のQに流域面積比を乗じ調査地の流量Q'としh-Q'曲線を作成した。④作成したh-Q'を用いて、2005年1月1日から8月4日までの流量Q'を算出し、流量Q'の発生頻度を算定した。

2. 4. 2 水理計算による調査地の水理状況の推定

調査地の出水時の流況再現の目的で調査地内の水理計算を行った。平水時から出水時までの幅広い流量を条件として計算を行うことから、一般座標系の使用が可能で、水際部の境界条件の自由度が高く一般座標系を用いた平面2次元流解析プログラム²⁾を用いて定常計算を行った。

河床形状データは調査地のレーザープロファイラによる測量成果、水域内の河床高現地測量データを基に内挿し流下・横断方向ともに6mピッチの河床高データを作成した。流量データは、以下の条件を設定した。上流端流量データは、定常流量(Q=40m³/s、50m³/s、以降50m³/s刻みで400m³/sまで)の流量を与えて計算した。調査地の平均流量は約15m³/sで40m³/sは平水よりも0.5m程度水位が上昇した状態である。計算時の下流端水位データの設定に関しては、上流端から与える流量に対応してManning式による等流水深を下流端水位とした。初期水位データについては、各計算横断面においてManning式による等流水深を初期水位条件として設定した。等流公式におけるエネルギー勾配Ieは、対象横断面の上下流断面(流下方向に±6m)の最深河床勾配とした。逆勾配が生じている区間では、計算区間全体の平均河床勾配である1/227を与えた。粗度設定は、礫床、植物群落の分布を総合的に考慮した。試験的に出水時の水理計算を行い、水理計算結果と出水時の痕跡水位に合致するように粗度調整し、最終的にn=0.032とした。計算時間ステップΔtは、Δt=0.1[sec]を基本とし、数値振動が発生する場合はΔt=0.05[sec]とした。水理計算の妥当性は、7月27日の現地調査時に40~50m³/sの出水状態を現地観測した。現地観測の結果、冠水域は水理計算結果と良好に合

致し、水理計算結果は冠水域、冠水状態を良好に再現していると考えられた。

上記の条件で算出した水理計算結果を GIS (ESRI 社、ArcGIS Ver. 9) 上にインポートした。

2. 4. 3 魚類行動追跡結果の解析

ATS により取得した供試魚の行動を示す位置データ群を、GIS (ESRI 社、ArcGIS Ver9.1) に取り込み物理環境情報 (流速、水深) と関係付けを行った。ATS はその特性から各位置特定に際し、一定の計測誤差があることが予想される。そのため、ATS で取得した各データを分析し著しく誤差が生じている可能性が高い場合には、そのデータを除去した。この分析は、以下の様に行った。ATS は、受信信号の受信状態、三角測量の幾何的な状態に関する評価値 (電波受信状況等) をプログラム解析時に付加する機能があるため、その値から判断し除去を行った。除去により、供試魚の行動を示す位置データ群は位置特定精度が高いデータに限定されると考え、除去後のデータは特に補正を行わなかった。

供試魚の行動特性と物理環境 (水深、流速) の利用特性を把握するため、以下の手順で行動特性を解析した。

まず、供試魚の追跡期間約 5.5 ヶ月を通した供試魚の行動圏を最外郭法で解析し行動圏面積を算出した。追跡期間の間には出水を含めた流量変動が生じ調査地内の流速分布は変化した。その流速分布変化に対応し、供試魚は行動すると考えられる。そのため供試魚の行動と調査地の流量変動との関係を考慮して上記で算出した行動圏を細分化し、平水時の行動圏、出水時の行動を供試魚の全データから抽出・分類した。

供試魚が平水時、出水に利用した空間の物理環境特性の違いを分析する目的で、魚類行動を示す位置データ群と水理計算結果の関係を分析した。魚類行動を示す位置データ群と同一日時調査地の流量を $h-Q$ 曲線により特定した (以下、対象流量とする)。メッシュデータとして算出される対象流量の水理計算結果から供試魚の行動を示す位置データ群と最も近いメッシュの水理計算結果 (流速、水深) を検索し魚類が利用した空間の物理環境特性とした。平水時、物理環境 (流速、水深) に対して供試魚が明確な選好性を持つか検証する目的で、供試魚が利用した空間の物理環境特性と調査地全体の物理環境特性の分散を比較した (F 検定、両側検定、有意水準 5%)。更に、魚類が利用した空間の物理環境特性を平水時と出水時に分類し、その特性を分析し物理環境特性から空間選好性を分析した。

供試魚の出水時の行動と流速分布特性の関係を分析



図-3 供試魚の行動を示す位置データ群プロット図

する目的で、出水時の供試魚の行動と水理計算結果の関係性を分析した。調査期間中の出水 1 (2005 年 3 月 18~20 日)、出水 3 (2005 年 7 月 4~8 日) を分析対象とした。以下、出水 3 を対象出水と記述する。対象出水中の流量変化を出水前期、ピーク付近、出水後期に 3 期間に分類した。各分類期間中の流量に対応する水理計算結果を時系列順にならべ、各分類期間中の流速分布変化とした。もとの流速分布変化と供試魚の行動を GIS 上に重ね合わせて行動との因果関係の分析を行った。

さらに対象出水中における供試魚が利用した空間の流速特性を分析する目的で、前述した方法で魚類行動と水理計算の方法を結びつけ、供試魚が利用した空間の水理特性 (流速、水深) を時系列データとして整理した。

3. 結果

図-3 に供試魚の行動を示す位置データ群のプロット図を示す。ATS による魚類行動追跡の結果、2005 年 2 月 23 日~8 月 7 日の約 165 日間をわたり、供試魚の行動追跡に成功した。追跡期間中、供試魚は約 4000m² 四方の範囲を移動し、複数の深部を集中的に利用していた。

調査期間中の流量変動、特に出水が供試魚の利用空間に大きな影響を与えていた。図-4 に供試魚の行動圏を細分化した結果を示す。2 月 23 日~3 月 17 日には、供試魚は行動圏①を主に利用していた。3 月 18 日~19 日に生じた小規模な出水により供試魚は下流側の深部を中心とする行動圏②へ流下した。流下後、3 月 20 日~4 月 5 日ま

1 3 . 2 河川工事等が野生動物の行動に与える影響予測
及びモニタリング手法に関する研究



図-4 供試魚の行動圏の細分化結果

で行動圏②で生息した。4月6日～4月7日に生じた小規模な出水により供試魚は上流側の深部、行動圏①に再移動し7月3日まで行動圏①に定着した。7月4日～9日まで、調査地では推定約400m³/sの中規模な出水が発生した。供試魚は、下流側の行動圏②へ流下するが、その後、流量の増加と共に行動圏③の方向へ移動し行動圏③に定着する。その後、供試魚は7月10日～8月4日まで行動圏③に定着し、その後、下流側へ移動し調査範囲外へ移動した。

流量30m³/s時の調査地全域の流速・水深と、平水時と出水時に供試魚が利用した空間の流速・水深の違いを図-5、6に示す。平水時、供試魚は流速が約0.6m/s、水深約0.5m、を中心に利用した。最大流速は、約1.5m/sの空間まで利用した。平水時、供試魚が利用した空間の物理環境（流速、水深）は調査地全体の物理環境特性と有意に異なっていた（流速:F値=0.91、水深:F値=1.37）。供試魚は、調査地の中でも低流速で水深が深い空間を選択し、その特性は流速0.6m/s、水深は0.5mであった。

出水時は、その流量により異なる結果となった。流量が小さい出水1、2の期間中、供試魚は流速が約0.5m/s、水深約0.5m、を中心に利用し、最大流速は、約1.5m/s以下の場所に存在しており、平水時と大きな変化はなかった。一方、出水3では、供試魚が存在した空間においても、流速は約1.5m/s、水深約1.0m、にまで達していた。

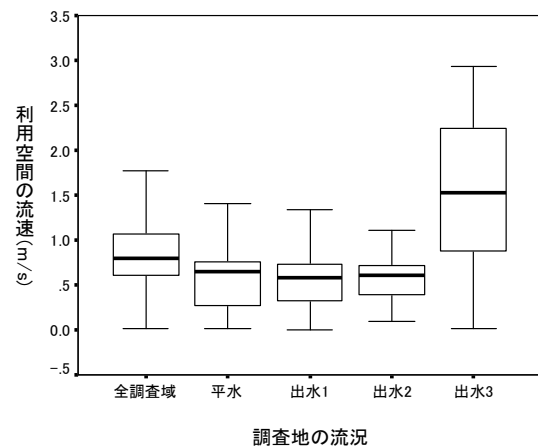


図-5 供試魚の利用空間の流速（計算値）

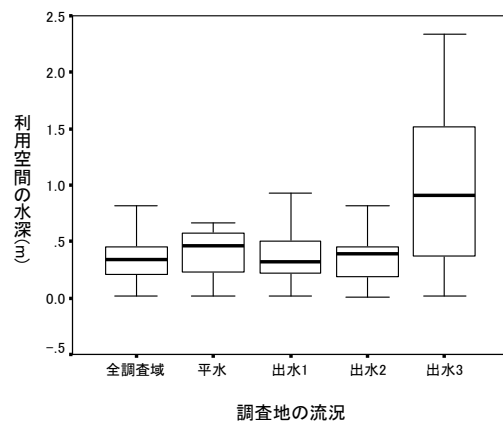


図-6 供試魚の利用空間の水深（計算値）

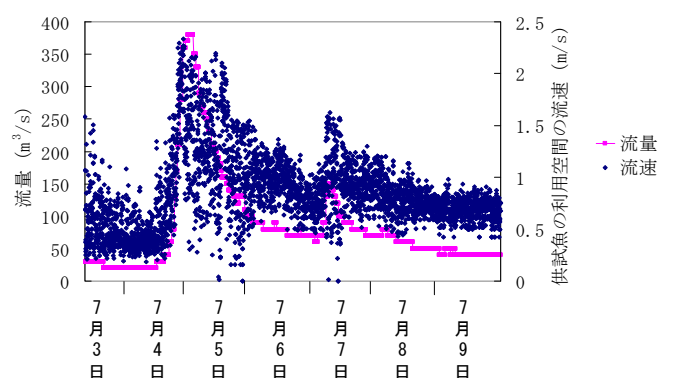


図-7 出水時の流量と利用空間の流速（計算値）

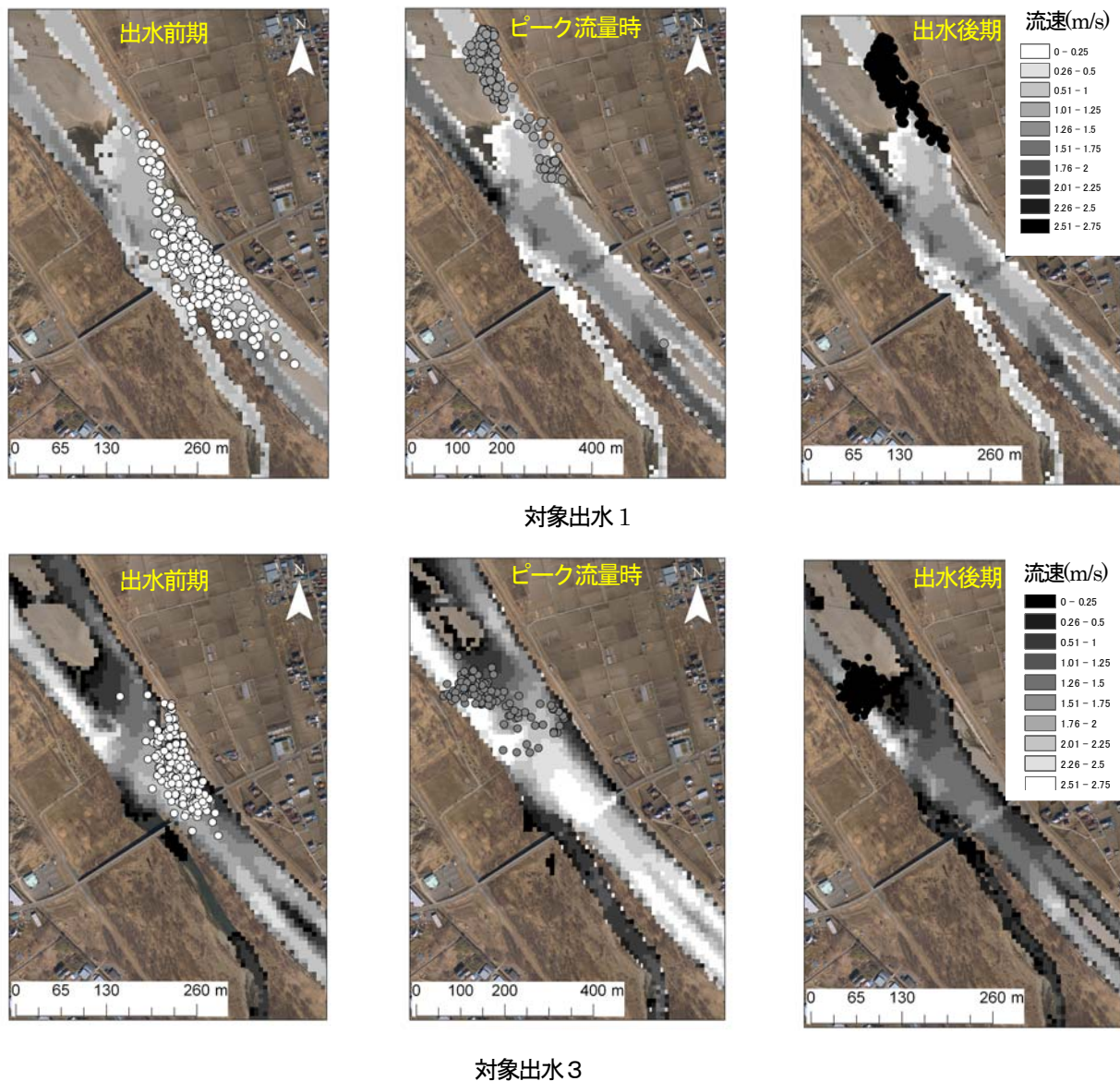


図-8 対象出水時の魚類行動と流速分布の関係。

出水3の期間中に、供試魚が利用した空間の流速時系列と出水3の流量時系列の比較を図-7に示す。出水による流量増加に対応し、供試魚が存在した空間の流速も増減した。流量増加時の7月4日5:00~11:00供試魚は、高頻度で利用した深部の右岸よりに移動し(図-8)、その時利用した空間の流速は最大約1m/sであった。7月4日11:00~12:00の間に供試魚は、高水敷の冠水地域を流下し、左岸よりの深部に移動した(図-8)。供試魚が流下前まで利用した空間の最大流速は約1.6m/sであった。その後、供試魚は左岸よりの深部で出水中定位した。その深部における最大流速は約2.6m/sであった。

4. 考察

4. 1 明瞭な行動圏と空間選好性

供試魚の行動を約5.5ヶ月追跡した結果、供試魚は複数の深部を含む約4000m²を利用した。行動圏内部を均一に利用するわけではなく、深部を重点的に利用した(図-3)。

出水前後で、供試魚が生息した深部を変えた理由は、能動的移動というよりは流速増加による受動的移動が原因と考えられる。出水時、本流内の流速が早くなった場合、河岸・高水敷上に現れる低流速空間を利用しながら流下を回避する。その場合には、出水前に存在した場所よりも下流側へ移動する場合がある。出水のピークを過ぎ流量が減少するに従い、河岸・高水敷上に現れる低流速空間も縮小していくが、供試魚は水域を求め本流側へ

移動し、移動した本流内で選好する空間（深部）を利用したと考えられる。

また、ATS のデータは水理解析と結合することで、供試魚が深部という類型景観を選好した理由を物理環境の面から把握することも可能とする。図-5、6 の結果は、供試魚が流速約 0.6m/s、水深約 0.5m の特性を持つ空間を中心に利用することを示し、供試魚が選好する深部の中でも前述の諸元の空間を選好することを示し明瞭な空間選好性を有していることが明らかになった。

4. 2 平水時と洪水時の行動特性の違いから見える行動モード

平水時と大規模出水時の違い、供試魚の行動は大きく異なっている。図-5、6 示すように、平水及び小規模出水時の魚類行動と出水時の魚類行動は大きく異なっている。平水・小規模出水時は平均流速約 0.6m/s、最大流速 1.5m/s 程度の流れの緩い場所に存在するのに対し、出水時は平均流速 1.5m/s、最大流速約 2.6m/s までに達する場所に存在する。これらは、楊ら³⁾が指摘する行動モードに照らし合わせて考えると理解しやすい。すなわち、平水や小規模出水時では、供試魚はたやすく流速の大きな空間からの退避可能であり、流速が遅い空間が周囲に存在するので行動モードを変化させる必要がなかったと考えることができる。

しかし、出水 3 の時には、低水路内は、流速が大きな空間だけになり、供試魚は出水時の避難行動に行動モードを変化させ、流速が早い空間でも対応できるような行動をとったと考えることができる。

4. 3 ATS による魚類行動と物理環境との関係性解明

長期に渡る供試魚の行動追跡結果は、河道内微地形の理解、しいては河川改修計画に大きな示唆を与える。供試魚は、追跡期間中、出水による流速の増加に対応し流下を防ぎながら調査地内を移動し、複数の深部に存在した。結果として調査期間の行動圏は、複数の深部を内包する構造となった。この結果は、供試魚は明瞭な空間選好性を有するが、選好する空間が単独であるよりは、複数の選好空間が連結して配置されることがよりよい魚類の生息空間になることを示している。つまり、流量変動等、物理環境変化が激しい河川の場合には、選好する空間が点在しているほうが、出水等で攪乱を受けた場合に退避・別の選好空間で生息することが可能であることを示している。今後の河川計画に重要な知見を提供していると考えられる。

出水時の供試魚の行動追跡結果も大きな示唆を与える。出水時、供試魚は流速の遅い空間を探し河川の河岸沿い

に存在している。流量の増加に伴い平水時に流路であるところに低流速域がなくなると、供試魚は平水時は高水敷上の低流速域の空間に存在している。このことは、魚類の生息空間、特に避難場として高水敷の形状が重要であることを示している⁴⁾。調査地のように平水時の流路と高水敷が緩やかな地形でつながっている場合、高水敷は出水時の魚類の避難場として機能する。しかし、小規模な出水で冠水する標高で高水敷が一定の標高の場合や、平水時流路と高水敷の間が崖状になっている場合は、前述の機能は期待できない。高水敷が一定の標高である場合には低流速域は形成されるが、高水敷上に均一の水深の冠水域が形成され十分な水深は確保されず魚類は避難場として存在できない。高水敷が崖状の場合には、高水敷上へ越流するまでは低流速域が形成されない。このような空間では、魚類は下流へ流される可能性が高くなると考えられる。これらの情報は、河川計画を行うときには高水敷の形状にも配慮して計画する必要があることを示唆しているが通常魚類調査ではこのような知見を得ることが難しかったと考えられる。

5. まとめ

- (1) 平水時、ATS で追跡した期間中、供試魚は約 4000 m² を行動範囲として活動した。長時間定位した類型景観は深部であり、その物理環境特性は、流速約 0.6 m/s、水深 0.5m と一定の物理環境特性を持っていた。
- (2) 出水時、供試魚は流量増加に伴う流速変化に対応し下流への流下を回避する行動をとった。供試魚の行動は、供試魚のいた空間の流速と対応していることが明らかになった。
- (3) (1)、(2) の結果から、様々な物理環境特性を持った空間の連結性の保全も魚類の生息空間保全には重要な要素であることが示唆された。

参考文献

- 1) 傳田正利、天野邦彦、辻本哲郎：一時的水域の魚類群集多様性向上への寄与とそれを支える物理環境に関する研究、土木学会論文集G、Vol. 62、No. 3、pp. 340-358、2006
- 2) 土木学会水理委員会、水理公式集改定委員会、水理公式集例題プログラム集編集委員会：水理公式集例題プログラム集、pp. 18-pp19、社団法人土木学会、2002.
- 3) 楊継東、関根雅彦、浮田正夫、今井剛：行動モードを考慮した魚の選好性に関する実験的研究、土木学会論文集、No636/VII-13、pp. 35-45、1999.

STUDY ON THE PREDICTION AND MONITORING METHOD OF THE INFLUENCE OF RIVER ALTERATION ON ANIMAL

Abstract :

ATS successfully tracked the fish behavior at about every 3 minutes for 155 days even during flood which occurred in the research period. The ATS showed that the test fish have clear home range of about 4000m² and inhabit in pools mainly. ATS also indicated that the test fish reacted quickly to the change of velocity to avoid being washed away during floods.

Key words : *Telemetry, Advanced Telemetry System, fish behavior, flush flood,*