

## 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（河川生態チーム）

研究担当者：三輪準二（上席）、傳田正利

### 【要旨】

平成 21 年度は、野生動物自動行動追跡システム（ATS：Advanced Telemetry System）の普及化を図るため、汎用型 ATS の試作機を信濃川水系信濃川・魚野川に適用し、アユ・サケの追跡調査を通じ、その実用性を検証した。また、信濃川・魚野川の合流地点のサケ遡上行動追跡、サケ遡上行動のモデル化を行った。土木研究所が開発する野生動物自動行動追跡システムによるサケ遡上行動データの取得、サケの遡上行動データと流況との因果関係、個体ベースモデルを発展させたサケの行動予測手法を信濃川の発電ダム放流量増加事例に適用し、2007 年と 2009 年のサケの遡上環境の比較を行った。

ATS 試作機の問題点抽出に関しては、受信局におけるデータ解析の長時間化によるシステムの同期計測異常、（ロ）大河川での現行 ATS 校正方法による位置特定精度の低下、（ハ）秋期・冬期での電源供給量不安定化による受信局稼働の信頼性の低下、という 3 点の問題点が抽出出来た。

2007 年と 2009 年のサケ遡上環境の比較では、ダム放流量増加による母川選択可能性の向上やサケの遡上路の物理環境多様性向上などの効果を推定出来た。しかし、サケのように行動能力が高く、水深の浅い場所・深い場所を利用する魚類の場合、データ量の不足等が不足すること、行動データの精度が安定しないこと問題が残った。本研究を通して、今後、生態系保全分野では、野生動物行動などを観測する技術、既往知見を活用した生物群集に関するモデル及び水工学との融合などが必要であると考えられた。

キーワード：野生動物自動行動追跡システム、実用性向上、アユ、サケ、行動追跡調査

### 1. はじめに

平成 20 年度までの研究により、野生動物自動行動追跡システム（ATS：Advanced Telemetry System）の汎用化を行い、ATS 普及化に向けての試作機の開発（以下、試作機と記述する）が完了した。平成 20 年度～平成 22 年度まで、土研提案型共同研究「野生動物自動行動追跡システムの実用性向上に関する共同研究」（以下、共同研究と記述する）を民間 2 社と実施している。本共同研究は、土研及び共同研究参加社が共同で試作機を現地で使用しデータを取得・解析することを通じて、試作機の実用性・経済性の検証やシステム改良点を議論し、試作機の実用性を向上することを目的としている。その後、普及化のために標準化（基準・仕様書等の作成）を行い、一般ユーザが使いやすいシステムへと改良することを目的としている。

平成 21 年度は、信濃川水系魚野川でアユの行動追

跡調査、信濃川水系信濃川でサケの行動追跡調査を行い、試作機の現地使用、アユ・サケの行動データ取得、試作機の問題点抽出、改良方法の検討及び試作機の改良作業に着手した。

本報告では、2 章において平成 21 年度の共同研究実施概要を取りまとめる。3 章において、共同研究で実施した調査の内、信濃川水系信濃川・魚野川合流地点（以下、越後川口地区と記述する）の JR 東日本発電ダムの放流量増加がサケの遡上環境に与えた影響評価の事例を紹介する。4 章では、共同研究の現地調査を通して抽出した試作機の問題点と改良への方向性を整理し、平成 22 年度以降の本格的な技術普及に関して考察することを目的とする。

### 2. 平成 21 年度の共同研究実施状況

#### 2.1 共同研究の実施体制

共同研究実施体制の概要を図-1 に示す。共同研究実施体制は、A～D 班で構成されている。A 班は、

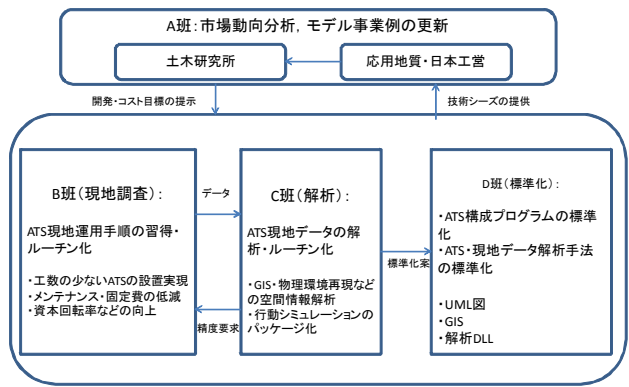


図-2.1 共同研究実施体制

主として ATS 普及化を目指す場合の市場設定や市場のニーズの把握、ニーズに合致した ATS の適用事例等を検討し、共同研究全体を統括する。B 班は主に現地調査を担当し、現地調査を通じて ATS の操作を習得し、試作機の問題点を抽出・改良案の提示を行う。C 班は ATS データの解析方法を習得する。特に、野生動物行動と空間情報（物理環境、餌資源等の行動生態に影響を与える情報）との因果関係分析、空間情報から行動を推定する手法の実用性を検討する。D 班は、ATS の普及化のため、ハードウェア・

ソフトウェアなどのツールの構造理解を行い、ハードウェアの標準化・仕様書作成を行い、機器の運用（制作・移転）を円滑に行える技術情報の整理を行う。

## 2. 2 平成 21 年度の共同研究の実施状況

平成 21 年度は、主として A、B、D 班が活動を行った。

表-2.1 に A、B 及び D 班の主な活動と成果を、表-2.2 に A 班による市場調査（各地方整備局直轄河川事務所へのアンケート調査）の結果を示す。A 班での検討の結果、魚類行動が追跡できる ATS の技術的特性を活かし、河川事業において市場ニーズが高いのは、アユ・サケ等の水産有用種の行動特性把握と河川事業による空間改変が水産有用種に与える影響評価であることを明らかにした。また、一般に新規技術の普及時には、一般ユーザは、技術的难度・技術のもたらす新しい恩恵・可能性を知らないために、ニーズ・欲求を自発的に表現することが難しいとされる<sup>1)</sup>。そのため、B 班ではアユ・サケの行動追跡実現に注力し、現地調査を行うこととし、信濃川水系魚野川、千曲川、信濃川を対象に試作機適用調査を行った。平成 21 年度 1 月以降は、試作機の問題点抽出、改良案の作成及び改良の初期着手を行った。

表-2.1 平成 21 年度の共同研究実施内容

|  |
|--|
|  |
|--|

表-2.2 河川事業者へのアンケート調査結果

|  |
|--|
|  |
|--|

### 3. 信濃川における発電ダムからの放流量増加がサケの遡上行動に与えた影響評価

#### 3.1 はじめに

河川は人間社会にとって大きな恩恵を与える。河川を流下する水は流域の農業・工業などの取水という直接的な利用だけでなく、河川による水力発電により、現代社会には欠かせない電力供給という形で重要な恩恵をもたらす。

信濃川中流部に設置されたJR東日本の宮中取水ダム（以下、宮中ダムと記述する）、千手発電所、小千谷発電所等は、首都圏の鉄道需要等に電力供給を行い、流域を越え人間社会へのその恩恵をもたらす。一方、宮中ダム等による取水はその下流部に減水区間を生み、河川景観や水域を改変し、生物生息環境や生態系へ影響を与えていると考えられ、その改善が望まれてきた<sup>2)</sup>。

2009年（平成21年）のJR東日本の不適切事案を発端として、2009年3月10日から宮中ダムでの取水が停止され、灌漑取水以外の流量が信濃川に放流された<sup>3)</sup>。この放流により減水区間の流量は回復し、河川景観・河川環境の改善、特に激減したとされる信濃川本川へのサケ遡上量増加が期待され、宮中ダムの魚道遡上数は、過去最高数の約4倍にあたる160尾が記録された。これは、放流量増加がサケの遡上行動に正の効果をもたらしたと考えることができる。

サケの遡上行動の改善等の施策評価等を行うには、（イ）サケの遡上行動を詳細に追跡すること、（ロ）流量増加による流況変化等の空間情報との因果関係を十分に分析すること、（ハ）分析した因果関係を用いて保全策の有効性等を分析する技術へ発展させること、以上の3つの取り組みが必要となる。

筆者らは、野生動物自動行動追跡システム

（Advanced Telemetry System: 以下、ATSと記述する）<sup>4)5)</sup>、物理環境（流速、推進等）と野生動物行動の因果関係を開発し<sup>6)</sup>、（イ）・（ロ）の必要性に対応する技術開発を行ってきた。また、数理生態学の個体ベースモデル<sup>7)</sup>を改良し、仮想空間上の空間情報等を判断しながら野生動物が行動選択をする様を模した行動予測モデルを開発し、（ハ）の必要性に対応する技術開発を行ってきた。

この技術の目的は、様々な環境保全施策・事業を行う場合に、施策・事業効果を事前に検討し、より効果的な環境保全策を計画することやデータのない過去の魚類の生息環境を再現し、魚類行動を推定・現在と比較し、生息環境悪化の要因を考察することにある。

筆者らが目指す手法を用いれば、直接採捕、観察等の調査が多かった野生動物調査をより定量化することができる。

本研究では、開発したATS・行動シミュレーション手法を信濃川の流量増加事例に適用し、宮中ダムからの流量増加がサケの遡上行動に与えた影響を推定する。その推定を通じ、筆者らが目指す手法の問題点を検討すると同時に今後、河川技術や他の研究分野で必要な技術、を考察・議論することを目的とする。

#### 3.2 研究の方法

##### (1) 調査地の概要

調査は2009年10月から11月にかけて、信濃川水系信濃川・魚野川の合流地点（以下、調査地）で行った。信濃川は甲武信ヶ岳（標高2475m）から長野県内を流下する区間では千曲川と呼ばれ、新潟県境に入り信濃川と名前を変える。流域面積11900km<sup>2</sup>、流路延長367kmの日本有数の大河川である。信濃川の支流である魚野川は谷川岳から魚沼地方を下り信濃川に合流する流域面積1504km<sup>2</sup>、流路延長68kmである。両河川は越後川口付近（新潟県北魚沼郡川口町西川口地先、東経138°85'18"、北緯37°27'122"、以下、調査地と記述する）で行った。調査地の概要を図-3.1に示す。調査地は、新潟県長岡市に位置する信濃川の洪水流量を放流する大河津分水路から40～43km区間で、河道幅約500m、平均河床勾配1/460、左岸は河岸段丘、右岸に築堤が行われている区間である。先述した減水区間は、調査地の直上流から宮中ダムまで約20km続いていたが宮中ダム放流後、信濃川の自然流況に近い流量320m<sup>3</sup>/s前後の流量が放流された。2009年秋の遡上調査

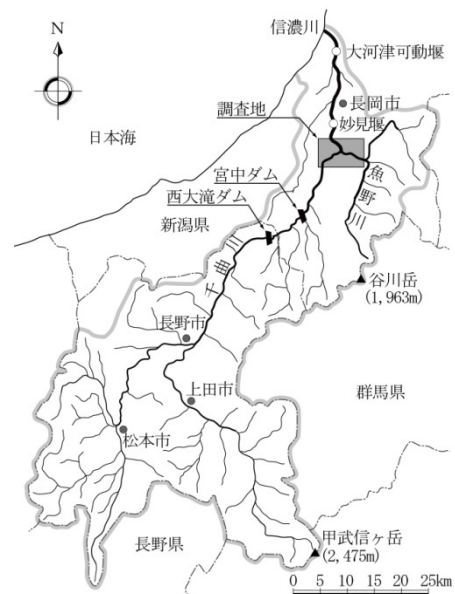


図-3.1 調査地の概要



図-3.2 ATS 受信局設置状況

では、信濃川宮中ダム魚道にて調査開始以来、サケの遡上数は最大であった。

## (2) 野生動物自動行動追跡システムを用いた調査地におけるサケの行動追跡調査

調査地でのサケ遡上行動と流況との関係性を分析するため、ATS を用いてサケ遡上行動追跡を行った。ATS は、指向性アンテナを回転させ電波到来角を計測する受信局を調査地内に複数設置し、電波発信機を装着した野生動物の行動を追跡し、約 3 分間隔で 2 次元的な野生動物の位置を記録するシステムである<sup>12)</sup>。

調査地は、水深が深く水中からの電波受信・信号判別に計算時間がかかること、受信局の設置位置制限の関係上、サケが魚野川通過時には位置特定精度が低いエリアを通過することが確認された。そのため、電波受信状況や受信局設置上の幾何的な関係から誤差が大きくなった箇所のデータを除去し、誤差上限 36m のデータのみを用いて解析を行った。

ATS によるサケの遡上行動調査は、2009 年 10 月 29 日～31 日にかけて行った。例年、信濃川へ遡上するサケが多く確認される大河津分水路の下流端にある第 2 床固付近で投網によりサケ（以下、供試魚と記述する）を 3 匹捕獲し調査地まで運搬した。供試魚の概要を表-3.1 に示す。運搬時には、供試魚に負荷がかからないように溶存酸素等に十分留意した。

調査地にサケを運搬後、調査地内で電波発信機の

装着を行った水槽内に麻酔（田村製薬社：魚類・甲殻類麻酔薬 FA100）を約 5cc 入れ、サケを麻酔した。十分に麻酔が効いたのを確認した後、メスでサケの腹腔を約 15cm 開腹し、電波発信機（LOTEK 社 MCFT-3A、直径 16mm、長さ 46mm、水中重量：約 6.7g）を挿入し、その後、縫合した。調査地内の生簀で流水中に供試魚を約 2 時間蓄養し、十分に覚醒したのを確認した後、10 月 29 日、30 日の両日とも 15:00 を目安に調査地の下流端に放流した。放流後、調査地の浅瀬を遊泳し淵の中へサケが移動したのを確認した後、ATS でサケの行動追跡を行った（図-3.3）。

### (3) データ解析

#### a) 流量放流前・放流後の調査地での流況再現

調査地の 2009 年調査日と流量増加以前の 2007 年 10 月の平均的の流況を再現するため、平面 2 次元流解析プログラムを用いて定常計算を行った。地形データの作成は、地表と水中に分割して行った。地表の地形データは、2005 年に取得したレーザープロファイラ（以後、LP と記述する）の地形モデルを地理情報システム（ESRI 社：ArcGIS、以後、GIS と記述する）に取り込み作成した。水中地形は、信濃川・魚野川の定期横断測量結果を GIS に取り込み TIN による内挿計算結果と 2009 年の空中写真・現地状況と照合し TIN データを修正した。その後、地表と水中のモデルを合わせ調査地の地形モデルを作成した。

2009 年調査日の流況計算は、信濃川上流端流入量を  $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 、魚野川上流端流入量を  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  とした。2007 年 10 月の流況計算は、信濃川は流量変動が大きかったため 20、40、60、 $100 \text{ m}^3/\text{s}$  として信濃川上流端流入量を設定した。魚野川は比較的安定した

表-3.1 供試魚の概要

| 供試魚 | 性別 | 体長    | 全長   |
|-----|----|-------|------|
| 1   | メス | 0.625 | 0.7  |
| 2   | オス | 0.58  | 0.66 |
| 3   | オス | 0.61  | 0.69 |

単位:m



図-3.3 供試魚と発信機装着状況



流量であったため、上流端流入量を  $80\text{m}^3/\text{s}$  とした。両計算ともに粗度は河道内・河川高水敷ともに  $n=0.032$ 、計算メッシュは概ね  $6\times 6\text{m}$  とした。

#### b) サケの遡上行動と流況特性の関係性分析

ATS で取得したサケの遡上行動データ（以下、行動データと記述する）を GIS へインポートし、流速、水深と遡上行動との関係性を分析した。ATS の現地誤差検証で得た誤差距離  $36\text{m}$  を考慮し、GIS 上で各行動データから  $36\text{m}$  のバッファリングを行い、サケが遡上時に利用した可能性がある位置の流況計算結果を抽出し、流速、水深の特性を把握した。その後、サケの遡上行動に関連する既往研究結果と比較し、行動モデルの空間選好性のルールに反映した。

#### c) サケ行動のシミュレーションモデルの概要と作成

サケの遡上行動を模擬するため、サケの遡上行動モデル（以下、行動モデルと記述する）を作成した。行動モデルで行動を模擬するサケは、以降「仮想魚」と記述する。

遡上期のサケの遡上行動の特徴として、上流への高い遡上欲求と高い確率での母川識別・回帰が挙げられる。また、他の魚種で一般的に言われるように体長の  $2\sim 3$  倍の巡航速度、体長の約  $10$  倍を上限とする突進速度の遊泳力制限を併せ持つ。サケ科魚類では巡航速度は、体長の  $3\sim 4$  倍といわれる<sup>9)</sup>。供試魚の場合、約流速  $2.1\sim 2.8\text{m/s}$  が上限値となると考えられる。これらの特性を考慮して、仮想魚は以下の行動特性を持つようにモデル化した。

行動モデルでは、ATS の誤差を考慮して調査地を  $30\times 30\text{m}$  の格子に離散化した。離散格子内に（3）節 a) 項で計算した水深、流速を平均値で格納した。魚野川と信濃川合流点の流況計算結果を評価しながら、信濃川と魚野川の流量混合状況を判断し、溶解物質による母川識別行動を模擬するための母川情報を入力した空間モデル（以下、仮想河川と記述する）を作成した。

次に、魚類個体を模倣した仮想魚は、個体特性として、体長、湿重量、雌雄の別、生まれた河川設定を属性情報として保持する。仮想魚は、遡上行動中であるため、流況計算結果の流向ベクトルを判断し、上流側を判断し遡上を積極的に行う（図-3.4）。

仮想魚は、母川情報を識別するまでは、以下の行動ルールに従い遡上する。自身周辺  $8$  セルを、（イ）流速が体長の  $4$  倍を上限として選択可能空間を抽出（以下、選択候補と記述する）、（ロ）選択候補内で最も水深が深いセルを選択し遡上する。但し、 $0.2\text{m}$  よ

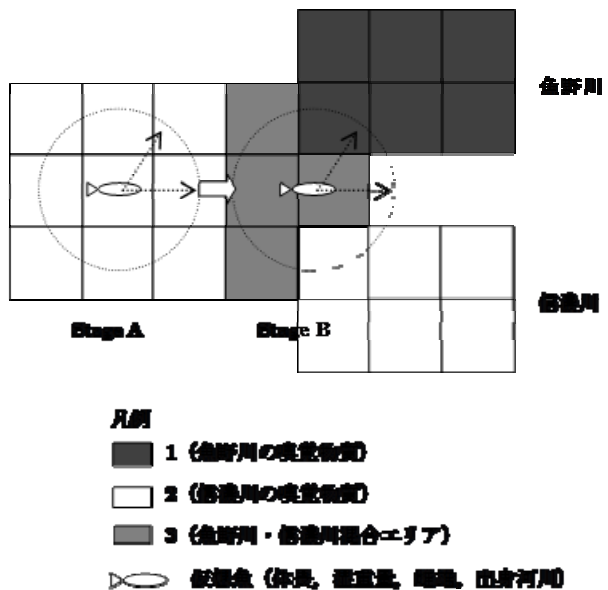


図-3.4 供試魚と発信機装着状況

り浅いセルは選択しない。仮想魚は、母川情報が付与されている地点へ到達すると、（イ）の条件に加えて母川であるか否かを判断し、（ロ）の情報を付け加え遡上を行う<sup>9)~12)</sup>。

行動モデルでの仮想魚の行動とサケの実測データを比較し、行動モデルの信頼性を検証した。

#### d) 信濃川産サケの 2009 年、2007 年の遡上ルートの推定

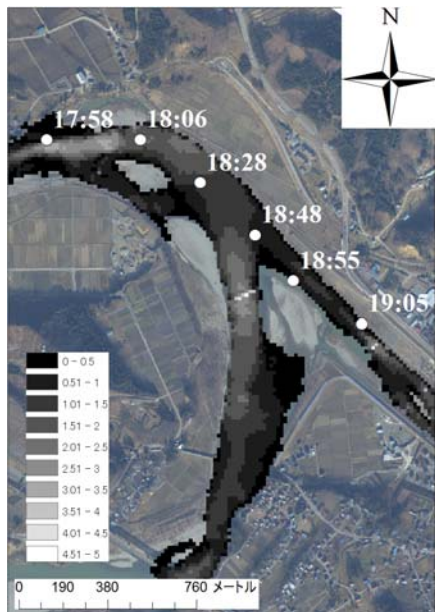
後に詳述するが、現地調査で追跡に成功した 3 匹の供試魚は、全て魚野川へ遡上した。サケの母川識別確度が極めて高いという既往研究の知見から判断すれば、現地調査で追跡したサケは、魚野川産と推定される。

そのため本研究では、c) 項で作成した行動モデルでの仮想魚の内、信濃川産の仮想魚の行動を比較し、流量増加がサケの行動に与えた影響を推定した。

a) 項で計算した 2007 年、2009 年の流況計算結果を、c) 項と同様に、2007 年仮想河川、2009 年仮想河川としてデータ整備した。両仮想河川上で、信濃川産仮想魚の行動を比較し、放流増加が仮想魚の行動に与えた影響を推定した。

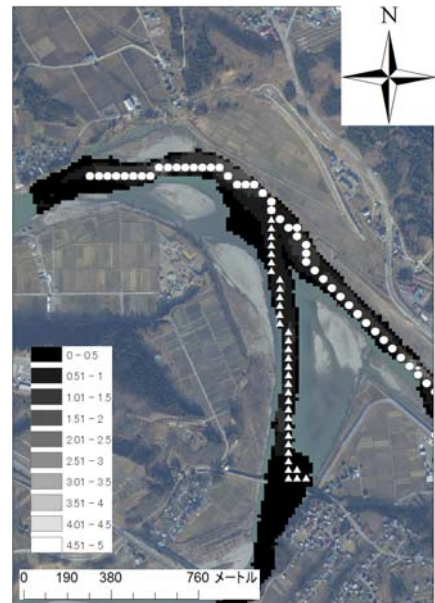
### 3.3 結果

#### (1) ATS を用いたサケの遡上行動追跡結果と空間選好性の把握



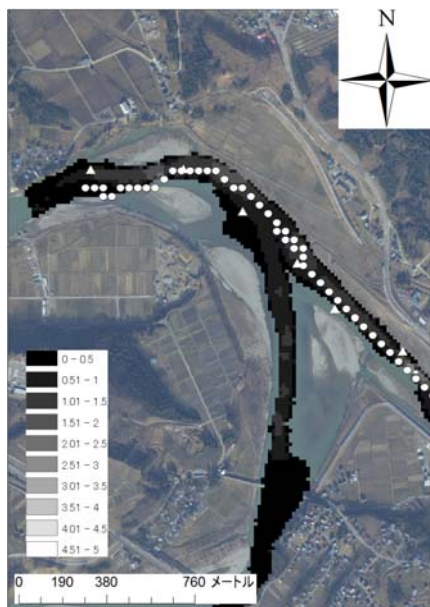
(放流日 10 月 29 日：ラベルは観測時間)

図-3.5 ATS を用いた供試魚 1 の遡上行動追跡結果



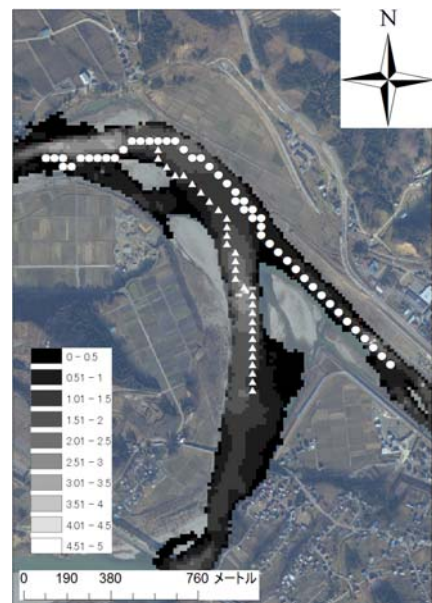
△：信濃川産仮想魚、○：魚野川産仮想魚

図-3.8 2007 年流況での信濃川産・魚野川産サケの遡上行動推定結果



△：実測、○：シミュレーション

図-3.6 ATS を用いたサケの遡上行動追跡結果と行動モデルでの遡上ルート推定結果の比較



△：信濃川産仮想魚、○：魚野川産仮想魚

図-3.7 2009 年流況での信濃川産・魚野川産サケの遡上行動推定結果

表-3.2 供試魚が利用した空間の流況特性

|    | 流速(m/s) | 水深(m) |
|----|---------|-------|
| 平均 | 0.76    | 1.17  |
| 最大 | 2.02    | 2.45  |
| 最小 | 0.13    | 0.17  |

図-3.5 に ATS を用いた供試魚 1 の遡上行動追跡結

果と流速分布との関係を示す。3 供試魚ともに同様の遡上経路を通過した。放流地点から供試魚は、合流後信濃川主流部を通過するが、合流地点で流速が大きくなる地点を回避し、左岸側河岸部を通過し、信濃川を横断し、魚野川へ遡上する経路であった。表-2 に全供試魚が選択した空間の流速、水深の平均、最大、最小値を示す。供試魚は、平均水深 1.17m、平均流速 0.75m/s の空間を遡上した。既往研究で指

摘される巡航速度等の空間選択の条件を満たし、既往研究の結果の妥当性を示す結果となった。

## **(2) 供試魚と仮想魚の行動比較を通した行動モデルの信頼性検証**

図-3.6 に ATS を用いたサケの遡上行動追跡結果と行動モデルでの遡上ルート推定結果の比較を示す。遡上行動時に、供試魚は、合流後の信濃川主流部を通過するが、流速が著しく大きくなる地点を左岸側に回避し、河岸部を通過する特徴があった。一部の回避傾向を除いては、仮想魚は行動の傾向を良好に再現した結果となった。特に、供試魚の行動データを用いて抽出した空間選好性により良好な模倣結果になった。

## **(3) 仮想魚を用いた 2007 年と 2009 年の流況変化がサケ遡上行動に与えた影響評価**

図-3.7 に信濃川産仮想魚及び魚野川産仮想魚を用いた 2009 年 10 月 29 日の流況下でのサケ遡上行動推定結果を、図-3.8 に信濃川産仮想魚及び魚野川産仮想魚を用いた信濃川法流量  $20\text{m}^3/\text{s}$  流況下でのサケ遡上行動推定結果を示す。

2 つの推定結果は、大きく異なった。信濃川産サケと魚野川産サケの経路選択分岐点の違いと信濃川選択後の水域の違いである。2009 年流況下で信濃川産仮想魚、魚野川産仮想魚は、信濃川・魚野川合流後からかなり下流側で経路が分かれたのに対し、2007 年流況下で信濃川産仮想魚、魚野川産仮想魚は、信濃川・魚野川合流部直下流で経路が分かる結果となった。これは信濃川流量の増加により母川情報が下流へ移動したことに起因する。

合流点上流の信濃川での信濃川産仮想魚の行動に着目すると、2009 年流況下での信濃川産仮想魚は、広い水域内から選好性の高い空間を選択し遡上しているのに対し、2007 年流況下での信濃川産仮想魚は、狭い水域内から最も選好する空間に近い流況条件を選択し遡上した。

### **3.4 考察**

#### **(1) ATSを用いたサケの遡上行動追跡結果と空間選好性の把握**

ATS を用いたサケの遡上行動追跡の結果、サケは合流後の信濃川の低流速部を通過し、その後信濃川を横断し魚野川に遡上する結果であった（図-3.5）。他の個体も合流後信濃川、魚野川での遡上経路選択は同様の結果を示した。

作成した行動モデルは供試魚の遡上行動の特徴を模倣した結果となり（図-6）、魚野川産の仮想魚に関

しては、行動モデルは一定の精度でサケの遡上行動を推定出来ていると考えられる。母川選択以外では、信濃川産仮想魚も同様の行動をとるため、限定された精度ではあるが信濃川産サケの行動も推定できると考えられる。

#### **(2) 信濃川の放流量増加がサケの遡上行動に与えた影響評価**

宮中ダムでのサケの遡上数調査の結果、サケの遡上数は過去最大を記録したことを考えると、宮中ダムでの流量増加はサケの遡上環境向上に寄与したと考えられる。この要因を本研究の成果を用いて推定する。

行動モデルでの 2007 年と 2009 年の信濃川産サケの遡上行動推定により明らかにしたのは、(イ) サケの河川選択分岐点が 2009 年は下流側へ移動していること、(ロ) 信濃川産サケが分岐付近前後で選択できる水域の多様性の違いである（図-3.7、図-3.8）。

(イ) の差異は、サケの母川識別に有利に働くと考えられる。サケは、鋭敏な嗅覚により母川を識別するとされるが、母川選択時に誤りが生じた場合、2009 年流況ではサケは経路修正が容易であるが、2007 年流況では、サケは一度下流側へ降下するなどして経路を選択しなおす必要がある。

(ロ) の差異は、信濃川へ遡上可能なサケの行動経路選択の多様性向上である。本研究で用いた供試魚は、約 0.6m という体長であったが、信濃川を遡上するサケは、より多様な個体サイズであったと考えられる。2007 年流況の場合、仮想魚は 2009 年に比して、限られた水域を通過した。この場合、一部のサケに適した遡上経路しかないことや、捕食者による捕食可能性が上がる等が考えられる（図-3.7、図-3.8）。

このような点から考慮すれば、2009 年の放流量増加は、サケの遡上環境により良い状況を生み出したと考えることが出来る。

#### **(3) 信濃川の放流量増加がサケの遡上行動に与えた影響評価**

本研究では、ATS を用いてサケの遡上行動調査を行い、その空間選好性・サケの行動生態からサケの行動モデルを作成し、2007 年、2009 年の流況でのサケの遡上行動を推定した。本研究で提案する手法の実現には、行動予測モデルの精度がその成否を分けるが本研究で追跡したサケに関しては、供試魚の数、行動データともには十分とはいえない（表-3.1、図-3.5）。他の生物調査・観測技術に関しても多くの



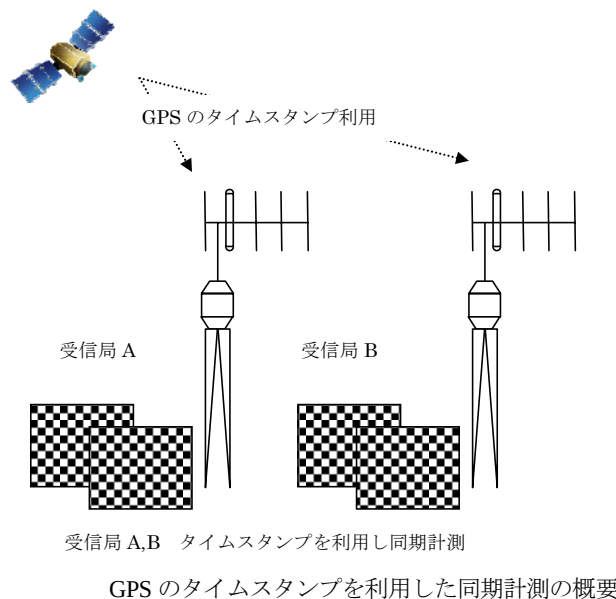
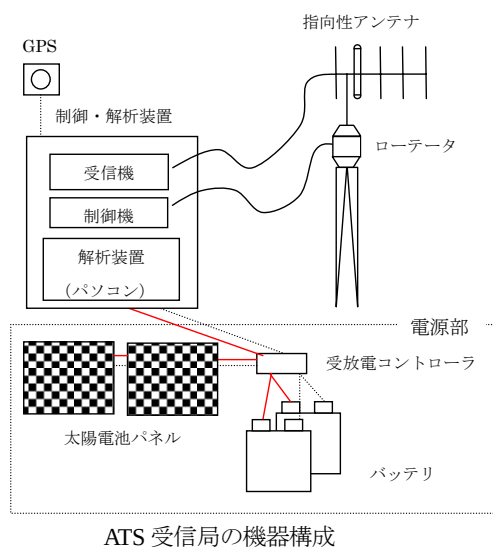


図-4.1 改良後の ATS 概要図

技術が積極的に開発・普及しているとは言えない現状があり、今後、河川技術分野が積極的に取り組むべき課題である。

反面、行動モデルの開発時、既存のサケ行動に関する知見を集積・開発した行動モデルのテストランは ATS のデータを予見するかのような結果を導き出し、2 章 C 節で示した空間選択のルールを微修正することで、良好な行動予測結果を得た（図-3.8）。これは、既存研究の知見を総合化するだけでも行動予測テストモデルが可能であることを示す。本モデルでは、母川回帰と流況による空間選択という単純なモデルとしたが、これらに、遊泳行動の持続時間など、より魚類生態・生理学的な情報を付与することにより、行動モデルが精緻化すると考えられる。この精緻化に観測技術が呼応し、実データがモデルの信頼性を実証することにより、行動モデルの完成度が向上し、環境影響評価、施策検討等、今後河川技術に求められる課題に答えることができると考えられ、積極的な研究展開が期待される。

#### 4. ATS の試作機現地適用を通じて明らかになった問題点の整理とその改良方策の検討

##### 4.1 ATS 試作機の技術的問題点と改良策

ATS 試作機を現地適用した結果、(イ) 受信局におけるデータ解析の長時間化によるシステムの同期計測異常、(ロ) 大河川での現行 ATS 校正方法による位置特定精度の低下、(ハ) 秋期・冬期での電源供給量不安定化による受信局稼働の信頼性の低下、という 3 点の問題点が抽出した。以降にそれらの問題点・

改良方法を概括する。

##### 4.2 受信局でのデータ解析の長時間化、気象条件による同期計測異常とその解決策の検討

汎用化を図る前の ATS は、制御局と受信局間に無線 LAN のネットワークを構築し、無線 LAN を介して各受信局の計測同期をとっていた。しかし、野外での無線 LAN 構築は、通信路設計・機器設置等を含め、多くの調査時間、機器費用及び設置工事費用を要した。そのため、ATS 試作機では図-4.1 に示すように GPS で各受信局の制御機の時間を同期し、同じ時間に計測を開始するようなシステム設計としている。

GPS で同期し、同時刻に計測を開始した各受信局は、電波受信データの中から電波発信機のパルス信号の形状と一致する電波受信データを検出する仕組みとなっている。

しかし、信濃川・魚野川での調査において、受信局でのデータ解析時間により、同期計測が実行できない場合が数多く確認された。これは、信濃川・魚野川の河道特性、気象条件が大きく関係していると考えられる。平成 21 年度に現地調査した信濃川は、平成 20 年度以前に調査した信濃川水系千曲川、五ヶ瀬川水系北川と比較して流量が多く水深が深いため、電波ノイズが多くパルス認識に時間がかかったと推定される。これは水深が深い箇所での魚類行動を追跡する受信局は、計測時間が他の受信局の約 2 倍かかった点はことから推測される。また、気象条件も計測時間の長期化に影響を与えた。信濃川でのサケ調査事例で顕著であったが、強風によりアンテナに風



圧荷重がかかり、アンテナの回転に時間を要したこと、低温によりアンテナ回転機（ローテータ）の回転時間が遅延したこと、以上の2点も同期計測異常に影響を与えた要因として考えられた。

これらの解決方法として、受信局プログラムの並行処理化を平成22年度に行う予定である。これは、現在、順次処理を行っている、(イ)計測、(ロ)解析、(ハ)データ格納の各プロセスを並列化し、解析時間に一定時間以上かかった場合には一次記憶領域にデータを格納し、(イ)のプロセスを優先して実施する。このプログラム改造により、同期計測異常を回避し、位置特定精度の維持が可能になると考えられる。

#### 4.3 大河川での現行 ATS 校正方法による位置特定精度の低下

ATS 試作機では、各受信局において、座標が既知の複数点に調査員が電波発信機を固定し電波計測を行い、各受信局のアンテナ回転台の計測角度の真北からズレを決定し幾何計算を行っている。また、校正作業は、複雑な多重波電波（電波反射・屈折）に対応するため行う側面もある。

信濃川で上記の校正方法を適用したところ、上記の校正方法が実施できない場合が確認された。越後川口地区が顕著な例であるが、浅い河岸（水深0.3m程度）が一定距離連続した後に急激に水深が深くなる場合や水深0.5m程度ではあるが流速が大きい場合が多く見受けられ、調査員による電波発信機の位置固定が十分に行えないことが多かった。そのため、水中からの電波送信が強すぎ、ATS 受信機のダイナミックレンジ以上の信号入力になることが多く、電波到来角の推定精度が低下することが多かった。

上記の問題点に関しては、校正方法の再検討を行う必要がある。校正の目的は、真北からのずれを計測するのが第1の目的であるが、この目的は、現在、技術開発が進む電子コンパスを活用し ATS 受信局に実装することが考えられる。電子コンパスは近年の開発により著しく向上し、現在の校正精度と同程度である。電子コンパスを活用することで、校正作業を確実なものにするだけでなく、設置にかかる工数・費用削減にもつながると考えられる。ここに補完的に多重波伝搬環境への対応校正を入れることにより、より安定した精度で魚類行動追跡が可能になると考えられる。

#### 4.4 電力供給不安定に起因する ATS 受信局稼働の

#### 信頼性低下

ATS 受信局では、太陽電池パネルにより発電し蓄電池に充電して電力供給源としている。平成21年度の調査では、夏期の調査時には1枚の太陽電池パネルで受信局の消費電力（以下、消費電力と記述する）をまかなうことが出来ていたが、秋期では2枚の太陽電池パネルでも消費電力を供給することが出来ず、最悪の場合、受信局の稼働が停止する場合もあった。

これは、秋期になったための日照時間の減少、日本海性気候による曇・雨の天候条件及び低温による蓄電池の放電率上昇が要因として挙げられる。平成22年度以降の調査では、小型風力発電等の補助電源等を措置し、電力供給の問題を改良する必要がある。

#### 4.5 ATS のコスト的問題点と改善に向けての方向性

4.3 節の課題とも関連するが、ATS 試作機では ATS 受信局の稼働状況を受信局付近でのみ確認できるため、稼働確認や電力供給状況などを作業員が、現地を巡回し確認を行った。この方法は安定した調査運用方法として確実な方法ではあるが、巡回作業員のコストや毎日、24時間の稼働確認が出来ないなどの問題がある。そのため、現在、ATS 試作機の改良を行っている。

この改良の実現方法は、各 ATS 試作機に携帯電話データ通信網への接続機能を付与し、受信局の状態（稼働状況、太陽電池パネルの発電量及び蓄電池の蓄電量等）、受信計測結果（計測時間、電波到来角及び電波受信強度等）をインターネットを介し、インターネット上のアプリケーションサーバに送信、インターネット上のアプリケーションに野生動物の位置を算出・位置を表示するアプリケーションに変更を行う予定である。

#### 5. まとめ

平成21年度は、野生動物自動行動追跡システム（ATS: Advanced Telemetry System）の普及化を図るため、汎用型 ATS の試作機を信濃川水系信濃川・魚野川に適用し、アユ・サケの追跡調査を通じ、その実用性を検証した。また、信濃川・魚野川の合流地点のサケ遡上行動追跡、サケ遡上行動のモデル化を行った。土木研究所が開発する野生動物自動行動追跡システムによるサケ遡上行動データの取得、サケの遡上行動データと流況との因果関係、個体ベースモデルを発展させたサケの行動予測手法を信濃川の

発電ダム放流量増加事例に適用し、2007 年と 2009 年のサケの遡上環境の比較を行った。

ATS 試作機の問題点抽出に関しては、受信局におけるデータ解析の長時間化によるシステムの同期計測異常、(ロ) 大河川での現行 ATS 校正方法による位置特定精度の低下、(ハ) 秋期・冬期での電源供給量不安定化による受信局稼働の信頼性の低下、という 3 点の問題点が抽出出来た。

2007 年と 2009 年のサケ遡上環境の比較では、ダム放流量増加による母川選択可能性の向上やサケの遡上路の物理環境多様性向上などの効果を推定出来た。しかし、野生動物行動データの精度・量の不足等の問題が残った。本研究を通して、今後、河川技術分野では、野生動物行動などを観測する技術、既往知見を活用した生物群集に関するモデルと河川技術との融合などが必要であると考えられた。

## 参考文献

- 1) 上田拓治: マーケティングリサーチの論理と技法[第2版]、日本評論社、pp. 305-307、1999
- 2) 信濃川中流域水環境改善検討協議会: 信濃川中流域の水環境改善に向けて、パンフレット
- 3) 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所HP: J R 信濃川発電所不適切事案対応状況  
<http://www.hrr.mlit.go.jp/shinano/jrhatuden/index.html>
- 4) 傳田正利・天野邦彦・辻本哲郎: 魚類行動自動追跡システムの開発と実用性の検証、河川技術論文集、第11巻、pp.459-464、2005
- 5) 傳田正利・天野邦彦・辻本哲郎: 魚類自動行動追跡システムの現地実証実験と魚類行動特性の把握、土木学会論文集 B, Vol. 65, No. 1, pp.1-14, 2009
- 6) 傳田正利・天野邦彦・辻本哲郎: 出水時の水理特性が魚類行動に与える影響 ―テレメトリと行動予測モデルを用いた人工出水時の魚類行動予測―、水工学論文集、Vol.49、pp.1465-1470、2004
- 7) Andrew Goodwin R., John M. Nestlerb, James J. Andersonc, Larry J. Weberd, and Daniel P. Louckse: Forecasting 3-D fish movement behavior using a Eulerian?Lagrangian?agent method (ELAM), Ecological Modelling, Volume 192, Issues 1-2, pp. 197-223, 2006
- 8) Goseset C., Larinier M., Porcher J P and Travade F: 魚道及び降下対策の知識と設計、中村俊六・東信行監修、財団法人リバーフロント整備センター、pp.48-53、1996
- 9) 上田宏: サケ科魚類の母川回帰機構に関する生理・生態学的研究、日本水産学会誌、Vol.71、No.3、pp.282-285、2005
- 10) 庄司隆行・上田宏: 魚類の嗅覚受容、魚類のニューロンサイエンス、pp.77-92、2002
- 11) Sato K., Shoji H. and Ueda H.: Olfactory discriminating Ability of Lacustrine Sockeye and Masu Salmon in various Freshwater, Zoological Science, Vol.17, pp.313-317, 2002
- 12) Shoji T., Ueda H., Okagumi T., Sakamoto T., Kasuragi Y., Yamaguchi K., Kurihara K.: Amino Acids Dissolved in stream Water as Possible Home Stream Odorants for Masu Salmon, Chemical Senses, Vol.25, pp.533-540, 2000

# STUDY ON THE PREDICTION AND MONITORING METHOD OF THE INFLUENCE OF RIVER IMPROVEMENT ON ANIMAL

Budgeted: Grant for operating expenses

General account

Research Period: FY 2005-2010

Research Team: Water Environment Research Group  
(River Restoration Research)

Author: Jyunji MIWA

Masatoshi DENDA

## Abstract :

In FY2009, for prevalence automatically wildlife tracing system(ATS : Advanced Telemetry System) , we applied a prototype which were modified ATS for prevalence in the Uono river and the Shinano River. We verified practicality the prototype. And then, field surveys to track migration behavior of ayu and Japanese salmon were conducted. For the case of salmon, the migration behaviors of salmon was modeled referring to individual based models (IBM) and we evaluated influence of the flow increase from electric power dam in 2009 on migration behavior of the salmon using the model.

In the result, following three results were clarified for the verification of the practicality of ATS prototype. (1) Making at length time of data analysis case failure of synchronous measurement in every receiving station, (2) nonapplication to large river of present proofreading method (3) unstable electric power supply from solar panel in autumn cased unsteady operation of ATS. And for the evaluation of migration behavior, the model clarified that the flow increase gave good effect on the migration behavior through the improvement of the mother river recurrence possibility and the diversity improvement of the migration route.

**Key words** : *Telemetry, Advanced Telemetry System, behavior of Japanese Salomon, the Shinao River ,the Uono river*