

## 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：水循環研究グループ（河川生態）

研究担当者：三輪準二、傳田正利

## 【要旨】

本課題では、河川工事等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を開発するため、達成目標 1：野生動物（中型哺乳類、河川中流域の魚類）の行動様式と物理環境条件の関係の解明、達成目標 2：野生動物行動予測手法の開発、達成目標 3：野生動物行動予測手法の実用性の向上、以上 3 つの達成目標を定め研究を行った。その結果、達成目標 1 に関しては、中型哺乳類の行動様式は植物群落・河川高水敷内の餌資源分布に、河川の魚類は、巡航速度以下の流速の空間の分布に大きく影響されていることが明らかになった。達成目標 2 に関しては、個体ベースモデルを改良し野生動物の空間選好性等を考慮した行動再現・予測手法を開発した。達成目標 3 に関しては、野生動物自動行動追跡システムを改良し汎用性を向上させると同時に、野生動物行動予測手法を他の河川のアユ行動再現・予測に適用し、その一般性を確認した。

キーワード：河川工事、野生動物、テレメトリ、野生動物行動への影響因子、行動予測

## 1. はじめに

第 1 期中期計画重点プロジェクト「IT を用いた野生動物追跡手法の開発」において、河川生態チームでは野生動物自動行動追跡システム（Advanced Telemetry System ; ATS）を開発し、野生動物の行動追跡を可能にした<sup>1)</sup>。この技術的発展は、既往研究・従来調査技術では、目視調査、痕跡調査及び直接採捕に頼ってきた野生動物の行動をより定量的かつ長期にわたって把握することを可能とした。同時に、野生動物の行動と環境因子（物理環境、植物分布等）との定量的な関連付け、環境因子と野生動物行動の因果関係の把握について大きく進展する可能性を広げた。

これらの成果を受け、本課題では第 2 期中期計画で「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（以下、本課題と記述する）」として、野生動物行動と環境因子の因果関係の分析、野生動物行動の予測手法の開発と実用性の向上を図る研究を実施した。

この背景には、従来の研究・調査の成果は、環境因子と空間的・時間的に限定された行動データの因果関係の把握に限定される傾向があった。一方、ATS を用いることで、限定的であった野生動物行動データは空間的・時間的に増加し、より定量的な野生動物行動

と環境因子の因果関係の把握につながる。同時に、データの増大・質的向上は、環境因子の情報を用いて野生動物行動を予測することにつながる可能性を持つ。

本課題では、河川工事等が野生動物の行動に与える影響予測手法及びモニタリング手法の開発を開発するために、以下の 3 つの達成目標を設定している。

達成目標 1：野生動物（中型哺乳類、河川中流域の魚類）の行動様式と物理環境条件の関係の解明

達成目標 2：野生動物行動予測手法の開発

達成目標 3：野生動物行動予測手法の実用性の向上

達成目標 1 では、河川工事が活発に行われる河川中流域に生息する動物の指標として、中型哺乳類、魚類を選定し、ATS を用いて得た野生動物の行動様式と物理環境条件（植物群落等の環境因子を含む、以下、環境因子と記述する）の因果関係を分析した。これらの研究により、野生動物の行動に影響を与える環境因子を抽出し、野生動物行動へ与える影響を評価する際の指標を抽出することを目的とした。なお、中型哺乳類と魚類を対象動物として選定したのは、中型哺乳類は、河川と周辺陸域を行動圏とし、河川工事により生息空間・採餌空間等の主要な必要空間が影響を受けるためである。魚類を対象としたのは、河川工事時には、



水産資源の保護・魚類生息環境保全が、必須配慮事項であるためである。

達成目標2では、達成目標1で得た成果を受け、環境因子から野生動物行動を再現するモデル及び、これを更に発展させ、野生動物行動を予測手法を開発した。この手法の開発には、近年、研究進展が著しい個体ベースモデル (Individual Based Models : IBMs) を応用し開発した。生態系モデリング (Ecological Modeling) の研究分野では、個体ベースモデル (Individual Based Models : IBMs) に代表される生物 (動物) の各個体の振る舞いに着目し、個体群動態の予測に結び付ける手法が研究開発され<sup>2)</sup>、河川環境及び河川生態系の管理に活用されている。IBMs の利点は、ATS を用いて得る野生動物の個体別の行動データの特性、環境因子との因果関係を分析する流れと IBMs のモデル開発の流れが類似している点にあった。

達成目標3では、野生動物行動予測手法の実用性を向上する。実用性の向上には、2つのサブ目標を設定した。

1つの目標は、野生動物行動予測手法の基礎データ取得手段となる ATS の実用性の向上である。本課題実施前の ATS は、調査地の特性に合わせ電源施設等の設置工事・施設整備等が必要なシステムであり、この特性は、ATS のシステム設置・維持コストを増大させた。また、ATS 技術の利用・普及化の社会的要請が高かったが、この課題は、ATS の一般性の低さが、普及化を妨げる原因となっていた。これらの背景から、本課題を改善するため、野生動物行動に関する環境調査経験が豊富な民間会社と共同研究を実施し、ATS の実用性を向上させた。実用性の向上は、可搬性・監視性等の向上を通じた ATS 導入のコストの低減、設定・測定に関する簡便性の向上を目標とした。

2つ目の目標は、野生動物行動予測手法の一般性の検証である。達成目標2で開発した野生動物行動予測手法は、特定サイトの野生動物データの再現・予測に留まらず、モデルの軽微な変更で他の調査地の野生動物行動を再現・予測することが必要とされる。

この検証のために、達成目標3では、達成目標2で開発したアユの行動予測に関する基本モデルを信濃川水系魚野川に適用し、アユの行動再現性を検証した。その後、魚野川で実施された河川改修事業に、改良したモデルを適用し、河川改修事業に伴う流況変化がアユ行動に与える影響を予測し、ATS による行動デー

タと比較し、改良したモデルの予測精度を検証した。

本報告では、本課題の5年間の主要な研究成果を達成目標毎にとりまとめ、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の発展に必要な課題や今後の研究の方向性を議論することを目的とする。

## 2. 野生動物 (中型哺乳類, 河川中流域の魚類) の行動様式と物理環境条件の関係の解明

### 2.1 はじめに

本章では、野生動物 (中型哺乳類, 河川中流域の魚類) の行動様式と物理環境条件の関係の解明に向けた研究成果を取りまとめる。本課題期間中に、表-1 に取りまとめる野生動物行動追跡調査、野生動物行動と環境因子の関係性解明を行った。本章では、これらの成果の中から、①五ヶ瀬川水系北川の野地区におけるアナグマ (*Meles meles anakuma*) の行動特性と環境因子との関係性の解明、②信濃川水系千曲川鼠地区におけるアユ (*Plecoglossus altivelis*) の行動特性と環境因子の関係性、について、研究成果の概要を報告する。なお、他の課題の成果については、文章中に引用文献を参照されたい。

## 2.2 中型哺乳類の行動様式と物理環境条件の関係の解明

### 2.2.1 はじめに

本研究では、ATS を五ヶ瀬川水系北川の野地区 (宮崎県延岡市北長井の野地先、以下、調査地と記述する) に設置し、秋期のアナグマの行動を追跡した。以下に調査方法、調査結果の概要を示す。

#### 2.2.2 研究の方法

図-1 に ATS の概要を示す。ATS は、制御局、複数の受信局により構成される。制御局は無線 LAN を介して受信局の電波到来角計測作業を制御している。受信局は制御局の指令を受けると同時に指向性アンテナを回転させ電波到来角 (電波が来る方向) を推定する。制御局では、専用のアプリケーションを用いて、各受信局で推定した電波到来角の値から三角測量の原理で電波発信機の位置を特定する。

通常、テレメトリで使用される電波発信機は、発信機の小型化・長寿命化を目的として間欠発信していることが多い。このため、単に指向性アンテナを回転さ



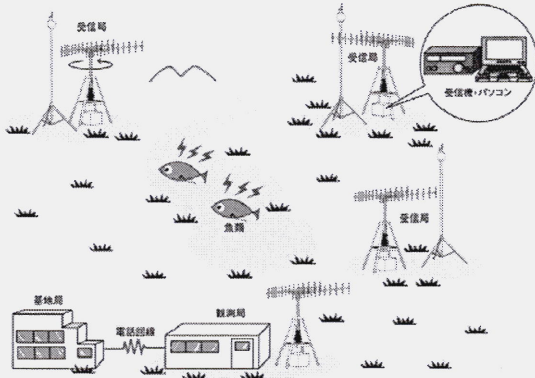


図-1

せるだけではビームパターン（アンテナの回転角度と受信強度の相関図）は離散的となり電波到来角の推定精度が著しく悪化する。

ATS の最大の特徴は、数値計算（スプライン補間）を用い、離散的なビームパターンデータから連続的なビームパターンを推定し、電波到来角推定の精度を向上させている点にある。受信局には指向性アンテナ（第一無線電波工業社、Beam Antena シリーズA144S10、144～146MHz、利得 16.1dBi、以下、アンテナ）を設置しローテータでアンテナを回転させ電波到来角を推定した。その後、制御局の位置特定プログラムを用いて水中の電波発信機及び魚類の位置特定を行った。

アナグマの行動追跡は2006年10～11月（アナグマ1、アナグマ2）の2度にわたり実施した（表-2）。成体メス1頭（Lotek社製MBFT-7A、141.510MHz、アナグマ1）を27日11:30に放逐、他の1頭（142.080MHz、アナグマ2）を27日14:08分に放逐した。この発信機を使用した首輪の総重量はそれぞれ61.7g、75.6gで、発信器重量が体重に占める割合は、それぞれ1.3%、1.7%となり、発信機装着が野生動物行動に影響を与えない範囲であった。

アナグマを放逐後、両個体の電波ともに10月30日の朝までは順調に受信出来たが、アナグマ1の方が山林へ移動したと推定され位置特定が不可能になった。アナグマ2に関しては、12月中旬まで電波の受信が確認できたが中旬以降、電波受信が弱まり位置特定が困難になった。本章では、アナグマ2の10月28日から11月23日早朝までの追跡結果に着目し分析する。

### 2.2.3 結果及び考察

アナグマ2の全行動域（86.3ha、10月28日～11月22日、全26日分）を図-2に、また

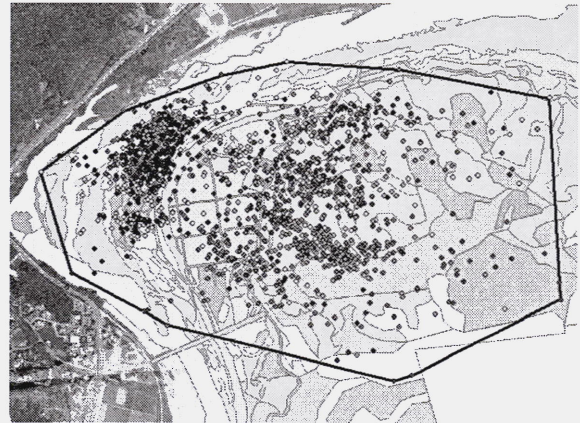


図-2

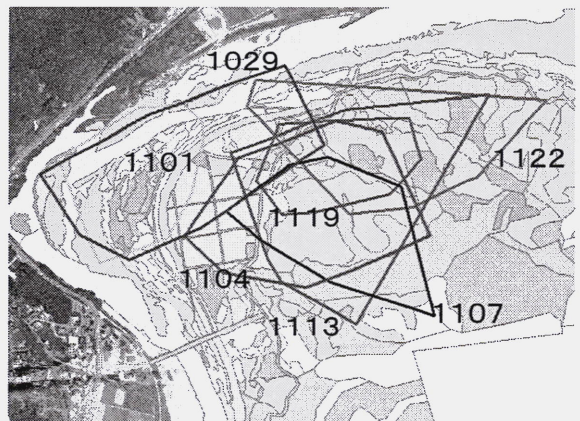


図-3

10月29日～11月22日のうちの選択された7日分の行動域を図-3に示している。追跡初期(11月2日まで)には、位置特定誤差のため、かなり多くの方探ポイントが河川水域内に落ちた。この水域内の誤差の発生は、河川水際付近の泊まり場をしばらく利用していたこととも影響している。行動圏の広さにはこの誤差が推定される行動データも含めたが、下述する土地利用の分析では、この河川水域は除いた。

このアナグマ2は放逐（10月27日）以降、的野河川敷内の掘削を免れた植生内を中心として過ごしていたが、11月4日以降、的野集落の裏山を中心に活動するように行動域を変化させた。この間、山中及び的野集落前の田畑・果樹園を中心に動き回った。7日間の平均の日行動域面積は15.6ha（8.3ha～20.0ha）で、標準偏差は5.2haであった。他の追跡個体よりもやや広い行動特範囲を示したが、他の個体に近い日行動域面積を示した。



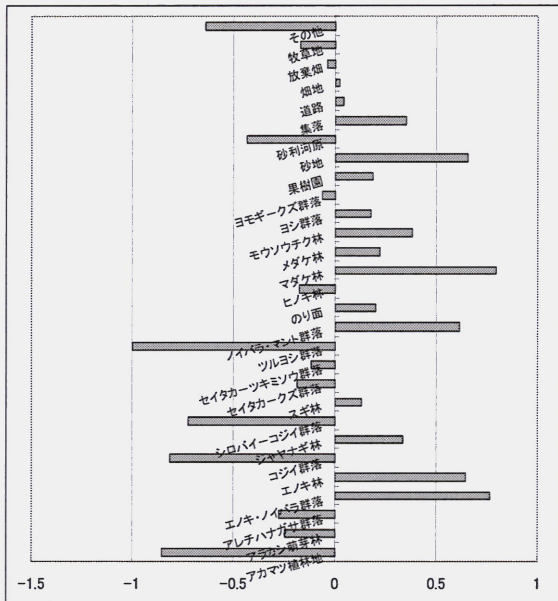


図-4

これらの結果より、アナグマの平均日行動域面積は約15haであろうと推定される。また、2個体とも河川敷で捕獲されたにも関わらず、河川敷への放逐の数日後、集落裏の山中にその活動中心を移すことを考えると、彼らにとって河川敷は、主な泊まり場としてよりは、採食場所として利用価値が高いものと思われる。

アナグマ2について、それぞれ植物群落・土地利用型の選好性について分析を行った(図-4)。なお、選好性はイブレフの指数(Ivlev's index)を下記の式により求めた<sup>9)</sup>。

$$I = (r_i - n_i) / (r_i + n_i)$$

ここで、 $r_i$ 、 $n_i$ はそれぞれ、方探ポイントが*i*番目の植生・土地利用型に落ちた割合と、方形区内の*i*番目の植生・土地利用型の面積割合をそれぞれ示す。Iは-1から+1までの値をとり、-1に近い場合は忌避していること、+1の場合は非常に選好していることを示す。図-4のアナグマ2の結果によると、砂地、モウソウチク林、マダケ林、ノイバラモント群落、エノキ林、エノキ・ノイバラ群落等の利用度が高い。逆にヨシ草原、コジイ林、アカマツ林などは忌避しているようである。畑の利用はアナグマ1ほど高くなかったが、正の値を示している。

本調査の結果のアナグマの土地利用分析から、アナグマは他の陸上哺乳類と比較して、人家や畑、果樹園、及び竹林を選好し、草原や密な樹林はそれほど好まない。すなわち、アナグマは、より農業などの人間活動と深い関わりの中で生活している可能性がある。ま

た、河川敷の利用に関しては、行動圏の分析結果でも分かるように、巣穴を掘って恒常的に利用するというのではなく、人家の周辺に巣を持ち、河川敷まで採食に出かけてくるという行動様式だと考えられる。

2.3 河川中流域の魚類の行動様式と物理環境条件の関係の解明

2.3.1 はじめに

アユ (*Plecoglossus altivelis altivelis*) は、河川生態系の保全や、水産資源の保全の観点から、全国の河川で保全の対象となる重要な魚種である。アユに関する研究は数多く実施され、アユの生態や個体群保全への関心の高さを示している。

既往研究を大きく分けて整理するとアユの生態や個体群保全に関する研究と魚道の開発・改良のための研究に分けられる。アユの生態については、以下の研究が挙げられる。皆川らは藻食性魚類であるアユの摂餌が河床附着膜の性状(構成や光合成速度)に及ぼす影響に関する実験結果を示した<sup>4)</sup>。川那部・水野らは、アユのなわばり行動特性と他の魚種と競争・共生関係について興味深い研究を行った<sup>5)6)</sup>。アユの物理環境選好性に関しては、瀬と淵におけるアユの生息適正相違の要因解明等がある<sup>7)</sup>。アユの個体群保全については、河川沿岸域のアユ稚魚の生態解明と遡上量予測技術の開発<sup>8)</sup>、アユ稚魚の移動と分散に関する研究などがある<sup>9)</sup>。アユ稚魚の遡上環境・魚道の改良のためのアユの遊泳能力分析の研究については、主にアユの遊泳能力、特に遊泳速度・突進速度の計測に関する研究や複数個体が集団で移動する場合の遡上成功率の向上等の研究が盛んに行われ、遡上率が高い魚道の開発に大きく寄与した<sup>10)</sup>。

これらの既往研究の特徴は、潜水観察や実験によるものも多く、調査時間や実験条件が限定されている点が特徴的である。例えば、夜間のアユが利用する空間の物理環境特性はどうか、長期間、アユはどの程度の範囲を移動するか等の連続的かつ長期間のデータなどは実河川で調査を行わないと取得が困難である。特に遡上を終えて成熟したアユ成魚の行動に関しては極めて知見が少ない。これは、調査方法が限定されているためである。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)を改良し、アユの行動を誤差30m程度で24時間連続して追跡できるシステムを開発した<sup>10)</sup>。ATSを用いれば、既往研究で取得できていない行動



圏や夜間のアユ行動特性等を把握することが出来る。本研究では降下期直前のアユの行動特性を把握することに焦点をあてる。これは、既往研究のアユの行動生態研究ではアユの縄張り行動が主に取り上げられるが、個体群保全を考える場合、産卵準備を整え下流へ下る準備をする時期が極めて重要であるためである。

このような背景から、本研究ではATSを用いて降下期のアユの行動特性を約2週間に渡り追跡し、行動圏の把握と時間帯別の空間利用特性、特に流速・水深の利用特性を把握し、アユの個体群保全に有用な情報を提供することを目的とする。

### 2.3.2 研究の方法

調査は、信濃川水系千曲川で行った。本河川は流域面積7163km<sup>2</sup>、流路延長214kmの大河川であり甲斐信ヶ岳(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、調査地と記述する)で行った。調査地の概要を図-5に示す。調査地は長野県境から95.6~97km区間で、流域面積2,560km<sup>2</sup>、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、礫の主要構成材料は20~200mm、d50=100mm、最大粒径200~300mm程度である。調査地の平均流量は約60m<sup>3</sup>/sであり、調査地上流部には農業頭首工の六ヶ郷用水(取水期間4~10月、以下、頭首工)が設置され2.48m<sup>3</sup>/sを取水した後、余水約10m<sup>3</sup>/sを下流側へ流下させる。

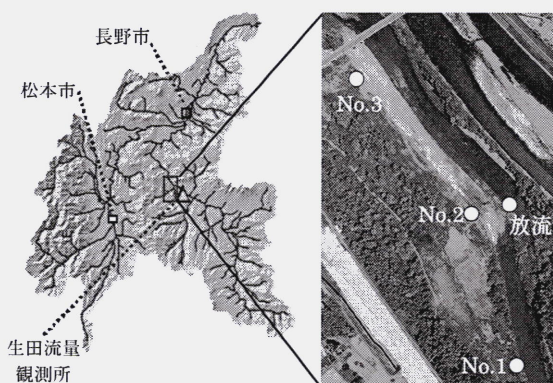


図-5

アユの行動データの信頼性を検証するため、ATSの位置特定精度の検証を行った。両地区の瀬・淵内に各

2点、合計4点の位置検証点を設置した。ディファレンシャルGPSを用いて位置検証点の座標を算出した。その後、位置検証点の河床部に電波発信機を固定後、ATSを用いて座標を算出した。ディファレンシャルGPSの座標とATSの座標(平面直角座標系)を比較し、ATSの位置特定誤差を算出し

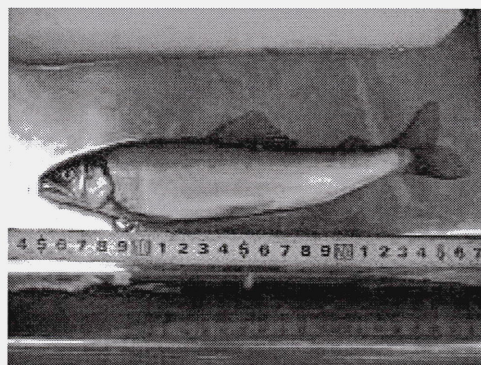


図-6

た。その結果、一部のエリアには誤差が著しく低下するエリアが見られたが、ATSは平均位置特定誤差31.45mで位置検出が可能であった。なお、誤差が著しく低下するエリアは誤差傾向を判断して修正し、上記と同様の誤差に修正した。

野生動物に装着する発信機の重量は、体重の5%以下であることが望ましいとされている<sup>11)12)</sup>。そのため、本研究では、電波発信機は、周波数144MHz帯、直径8.2mm、長さ19mm、水中重量約1g、発信寿命14日間のものを使用した(LOTEK社のMCFT-3GM)。調査地近傍の築場でアユ成魚1個体(以下、供試魚と記述する)を購入し調査地区に運搬後、調査地内で電波発信機の装着を行った。アユの腹腔を約15mm開腹し、電波発信機を挿入後、縫合した。その後、調査地内の流水中に各供試魚を20時間程度蓄養し、2009年8月28日の正午に調査地の中央部へ放流し、2009年9月11日までATSにより供試魚の行動を追跡した(図-6)。電波発信機装着が遊泳に与える影響を評価するため、放流時にアユ行動の潜水目視観察を行い、電波発信機装着がアユの遊泳行動に影響がないかを検証した。5分程度観察を続け、岸際に停滞していたアユが上流へと遊泳する様子を確認できたことから、アユの行動は発信機装着の影響を大きく受けていなかったと推定された。

行動データ取得時の流速・水深の算定、アユの流速・水深の選好性抽出を目的として、土木学会水工学委員会による平面2次元流解析プログラムを用いて、



平面流計算を行った。計算条件は、以下の通りとした。地形データは、千曲川河川事務所が取得したレーザプロファイラデータ（以下、LP データと記述する）と横断面測量データを合成し作成した。粗度は河道内・河川高水敷ともに  $n=0.032$  とし、計算メッシュは  $6 \times 6\text{m}$  とした。上流端からの流入量は、定常流量とした。設定流量は、2002～2008 年の水位・流量データから、HQ 曲線を作成し、調査期間の流量  $38\text{m}^3/\text{s}$  を推定した。計算結果は、現地に設置した水位計データと計算の水位を比較して検証し、良好な一致を確認した。

ATS で得たアユの行動データを用いて、アユの行動圏分析、アユの利用した空間の流速・水深特性を分析した。行動圏分析に関しては、供試魚の位置が大きく変化した2009年9月2日を境に行動圏を把握した。なお、2009年8月28日～年9月2日を期間1、2009年9月3日～年9月11日を期間2として評価した。行動圏の特定は、最外廓法を用いて評価した。日周期ではアユが日の出前後と日の入り前後に最も活発に摂餌するという知見<sup>12)</sup>を参考に、アユの利用した空間の流速・水深に関しては、アユの行動が大きく変化すると思われる時間帯1（5:00～17:00）、時間帯2（17:00～20:00）、時間帯3（20:00～24:00）に分けて評価した。アユの行動データと平面流計算で得た調査地流況解析結果を地理情報システム（GIS：ESRI 社 ArcGIS9.3）へ取り込み、アユ行動データに最も近接する流況解析の計算結果を関連付け、アユが利用した空間の流速・水深とした。ただし、ATS は太陽電池パネルで給電を行うため、深夜から早朝にかけ停止することがあったため、解析時は限定して解釈を行った。

### 2.3.3 結果及び考察

図-7 に供試魚の行動圏を示す。供試魚の行動は2009年9月2日前後に大きく変化した。期間1では、供試魚は放流地点周辺の淵で主に生息し、1リーチ（瀬と瀬の間）で生息した（図-4 中の赤丸）。その行動圏1（8月29日～9月2日の行動圏）は、約  $6,589\text{m}^2$  で、主に水深が深く流速が遅い箇所を利用した。2009年9月2日の12:00頃、供試魚は瀬の横を通過し上流側へ移動した。期間2の間、上流側の淵で供試魚は生息し、その行動圏2（8月29日～9月2日の行動圏）は約  $6,214\text{m}^2$  で期間1と同様であった図-7 中の白丸。また、両期間ともに白波が立つ瀬よりは、

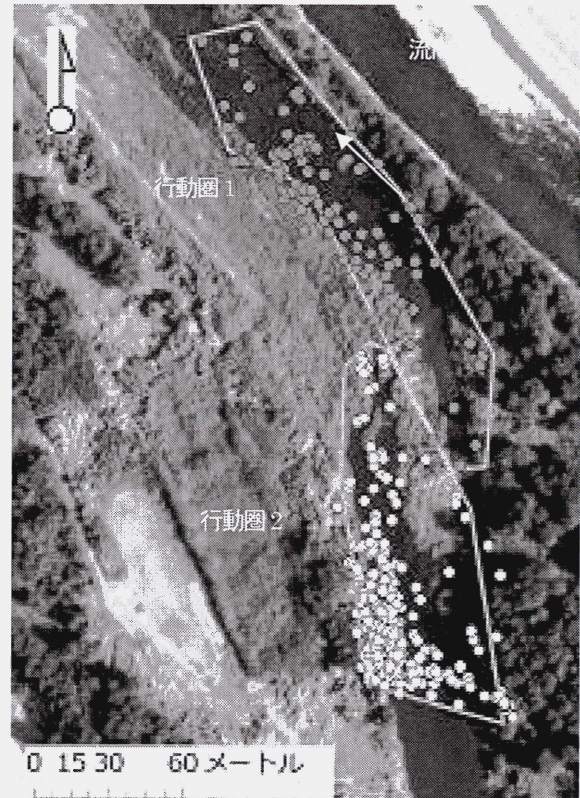


図-7

河岸部の低流速域や水深が深い箇所を中心に利用した。

供試魚の追跡結果は、アユの成長及びその生活史に起因すると考えられる。一般にアユは7月～8月にかけて瀬で藻類を採餌しながら成長するが、淵等、周辺環境を利用し生息するとされる<sup>15)</sup>。本研究では、行動圏1からも分かるように餌資源となる付着藻類が比較的少ないと考えられる範囲でも、約5日間滞留していた。調査期間中のように、十分に成長したアユは瀬等で積極的に採餌をするよりは、行動圏2にみられる通り河岸部の低流速域や水深が深い箇所（淵等）で捕食者に狙われる危険を回避しながら移動し生息していたと考えられる。一般にアユの選好する空間は、主に瀬が中心であるという印象があるが、本研究の結果が示すようにアユは淵も利用していることがわかる。本研究の結果は、アユの生息環境の保全を考慮する際には、瀬のみならず淵等、他の景観保全とそれらのネットワーク保全を積極的に行う必要があることを示唆している。

図-8 に供試魚が利用した空間の流速・水深を示す。供試魚は、流速約  $1.5\text{m}/\text{s}$  まで、水深約  $0.8\text{m}$  までの空間を利用した。時間帯別の空間利用特性は、時間帯



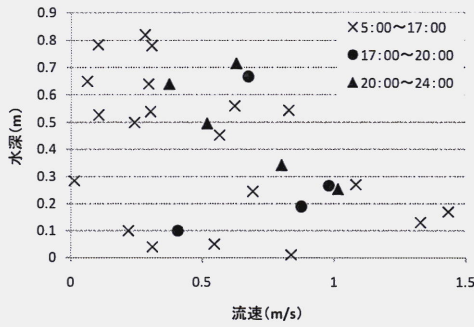


図-8

1と時間帯2・時間帯3で異なる特徴があった。時間帯1では供試魚は、水深約0.1~0.8m、流速0.25~1.5m/sの空間を幅広く利用したと推定された。一方、時間帯2、時間帯3では流速が遅く水深が深い空間を利用する特徴があり、その傾向は、時間帯3で顕著であると推定された。時間帯1では、供試魚は行動圏内の様々な空間を利用しながら採餌等、様々な行動目的に合致した空間を広範囲に利用するが、時間帯2・3のように採餌や休息といった目的が限定される時間帯には、水深が浅く捕食者に狙われる可能性の高い空間や流速が早く定位するのに多くのコストを必要とする空間は積極的に利用することが少ないことを図-5は示している。データ数は限定的であるが、(1)の結果と同様に流速・水深といった物理環境もアユの生活様式に合わせて選択できる多様な空間が必要であると考えられる。

図-9にアユ2個体の利用した空間の流速を時間分類別に示す。アユ個体1、アユ個体2ともに各時間帯で巡航速度(体長の2~3倍程度)より小さい流速の空間を主として利用した。時間帯別の空間利用特性ではアユ個体1は時間帯3(箱ひげ図3列目)、アユ2は

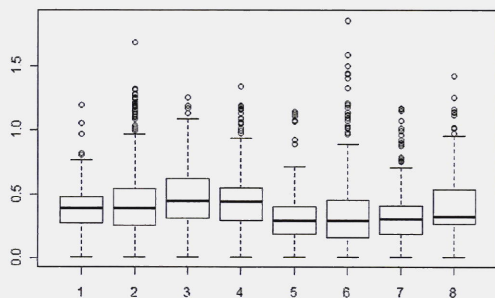


図-9

帯2(箱ひげ図6列目)が利用した流速の幅が広い傾

向があった。魚類に関する既往研究では、巡航速度が魚類行動に影響を与える指標として用いられることが多い。本研究の結果は、実験や室内観察で得られた既往研究の成果を、現地実測データとして実証していると考えられる。

## 2.4 まとめ

野生動物自動行動追跡システム(魚類行動を誤差約30m、約5分間隔、2次元で追跡可能なシステム)を用いて、降下期直前のアユ1個体の行動を2週間追跡した。その結果、アユの行動圏は平均約6,000m<sup>2</sup>、主に水深が深い箇所や流速の遅い箇所を利用した。また、放流後、1週間で上流側のリーチへ移動し、昼と夜では利用する空間の流速、水深が異なる傾向が把握できた。また、アユのアユ個体1、アユ個体2ともに各時間帯で巡航速度(体長の2~3倍程度)より少ない空間を主として利用した。

## 3. 野生動物行動予測手法の開発

### 3.1 はじめに

本章では、2章で解明した野生動物の行動様式と環境因子の因果関係を応用し、野生動物(中型哺乳類、河川中流域の魚類)の行動予測手法を開発する。対象としたのは、2章で研究成果の概要を紹介した①五ヶ瀬川水系北川の野地区におけるアナグマ(*Meles meles anakuma*)、②信濃川水系千曲川鼠地区におけるアユ(*Plecoglossus altivelis*)のデータを対象した。本章では、データは主として2章の結果を用いるため、主としてモデル内容について報告する。

### 3.2 中型哺乳類の行動様式の開発

#### 3.2.1 はじめに

2章では、陸上哺乳類については、アナグマの行動様式と環境因子の関係を、魚類についてはアユの行動様式と環境因子の関係を評価した。その結果、野生動物の行動様式は、環境因子との因果関係が明瞭であることが明らかになった。このような野生動物の行動様式と環境因子の因果関係は、統計解析でも一定の傾向を把握することが可能になる。

しかし、野生動物行動と空間特性の関係をより正確に把握しようとする場合、一歩踏み込んだ解析が必要となる。野生動物の行動特性として、時々刻々と変化



する空間特性に対応し行動を変化させる特性がある。つまり、野生動物の行動と空間特性の関係性をより深く理解するためには、空間特性（空間的不均質性）と空間特性の時間変化の2つの関係性を同時に把握する必要がある。このような手法の一つとして個体ベースモデル (Individual Based Model: IBMs) があるが、空間特性と個体行動の関係性分析、行動予測手法への発展に関しては、既往研究が少ないのが現状である。

更に、空間特性以外にも野生動物行動を決定する要素がある。その一つとしては、採食摂取エネルギーとその消費が挙げられる。2章の研究成果で、野生動物は、河川敷を採食空間の場として利用していることが明らかになった。河川周辺に生息する野生動物は、採食場への移動にかかるエネルギーコストと採食により摂取するエネルギーとのトレードオフを常に図りながら、その行動を決定していると考えられる。河川改修工事等による物理環境変化が野生動物の行動様式に与える影響を評価するには、空間特性の変化、採食活動とそれに伴うエネルギー消費の2つの観点から、野生動物の行動変化予測手法の開発を行う必要がある。

このような背景から陸上哺乳類に関しては、空間特性、エネルギー消費を考慮した行動予測手法の開発を行うことを目的とする。

### 3.2.2 モデルの概要

行動予測手法では、仮定の野生動物（以下、仮想動物）を設定する。本研究ではアナグマを仮想動物のモデルとした（以下、仮想動物と記述する）。仮想動物は、時間と自己内の蓄積エネルギーの量を判断しながら、採食場の探索、採食場への移動、採食、一時休息、帰巢、睡眠の各行動パターンを決定するとした。行動ルーチンの概要と行動決定の条件を表-2に示す。以下の段落に、時間と蓄積エネルギー量による仮想動物の行動ルーチンの判断、行動時の空間選択の条件の概要

を示す。

第1段階として、野生動物の行動選択のトリガーとして、時間と蓄積エネルギー量による判断を設定した。仮想動物は、時間と自己内の蓄積エネルギーの量を判断しながら、その行動を決定する。昼間行動する仮想動物は、夜明けとともに活動の準備を開始するが、体内の蓄積エネルギー量を活動開始の判断材料とする。体内のエネルギー量が基礎代謝量 (Basal metabolic rate: BMR) の1.2倍の残量を切った段階で活動を開始する仮説を設定した (表-2)。

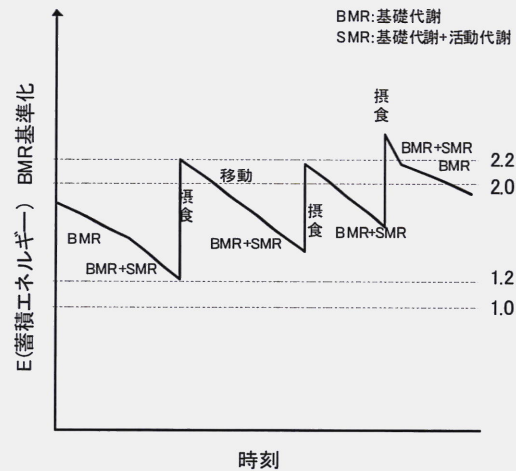


図-11

体内のエネルギー量の消費は、大きく分けて基礎代謝と活動代謝に分類されることが知られている。基礎代謝は、体重の増加に伴い必要なエネルギー量も増加することが知られ、その関係式は (1) によって記述される<sup>10)</sup>。

$$M = 70W^{3/4} \quad (1)$$

ここで、M は基礎代謝量として消費されるエネルギー量、W は体重である。活動代謝は、大型の動物

判断条件	時間	蓄積エネルギーE	BMR	SMR	行動モード
1	7:00~17:00	1.2BMR < E	○	—	休息
2	7:00~17:00	E < 1.2BMR	○	○	採食場所への移動・摂食行動
3		1.2BMR < E < 2.2BMR	○	○	休止、採食場所への移動・摂食行動
4	12:00~17:00	E < 1.2BMR + 夜間消費基礎代謝量	○	—	摂食
5	17:00~7:00	1.2BMR + 夜間消費基礎代謝量 < E	○	—	帰巢、休眠

表-2



ほど移動にかかるコストも低くなることが知られ、その関係式は(2)、(3)によって記述される<sup>17)</sup>。

$$M = 0.1(10)^E \quad (2)$$

$$E = 1.67W^{-0.216} \quad (3)$$

ここで、M は活動代謝量として消費されるエネルギー量、W は体重である。仮想動物が、摂食のために移動した場合、(1)式と(2)式を合算したエネルギーが消費されるとした。摂食後の休息や、夜間の睡眠時には、(1)式のエネルギーが消費されていると仮定した。

仮想動物が体内に蓄積できるエネルギーは、2.2BMR を上限とし、それ以上の摂食はしないと仮定した。また、体内エネルギーが夜間の休眠時に消費するエネルギー量の総和に満たない場合、仮想動物は12:00~17:00 の間に追加として摂食を行うと仮定した(図-11)。

近傍の摂食場所の探索と摂食場所への移動・摂食行動に伴う空間選択の条件は、以下のように設定した。採食行動を行う場合、採食可能な場所へ移動し、採食場所まで安全に移動する必要がある。そのため、以下のような空間検索・選択の方法を設定した。まず、自分の位置を探索すると同時に、採食場の位置を検索し、自分の位置と採食場の位置を直線で結ぶ。作成した直線付近の空間の空間特性が仮想動物の空間選好性に最も合致している空間を選択する。空間選択は、植物群落の有無、植物群落の選好性の条件を用いて評価し、最も選好性が高いと判断された空間を選択するとした(図-12)。

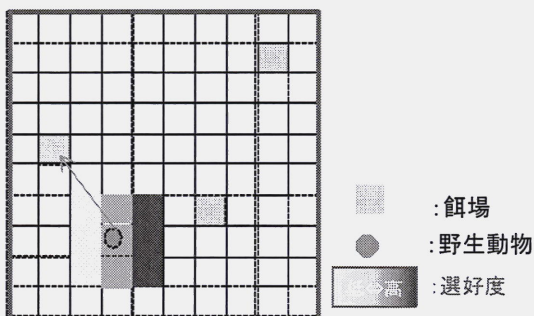


図-12

空間特性は、16m×16m メッシュに属性値として与えられ、仮想動物は移動した先の場所で逐次空間選択

をするとした。また、仮想動物は、1回の移動で1メッシュ移動を行うものとした。

再現計算の対象は、MTS を用いた2章で記述したアナグマ2の行動データを再現対象とした(以下、対象データと記述する)。同時に、アナグマ2の行動様式に影響を与える環境因子を上記のプログラムへインポートし、仮想動物の行動をシミュレーションした。

再現計算は、対象データで把握できたタヌキの巣、タヌキの採食場、環境改変箇所への検索場所の3点を目的地として設定し、蓄積エネルギー、時間との関係性をプログラムで判断させながら移動の再現計算を行った。

### 3.2.3 結果

図-13 に ATS を用いた野生動物行動データと野生動物行動予測手法を用いて再現した仮想動物の行動データの比較を示す。野生動物行動予測手法は、アナグマの行動特性を良好に再現した。特に、調査地周辺への山裾付近から調査地内の河川を周遊し山裾へ戻る行動の全体的傾向を良好に再現している。

この結果は、既往研究・評価技術では、物理生息場モデル (Physical Habitat Simulation Model:

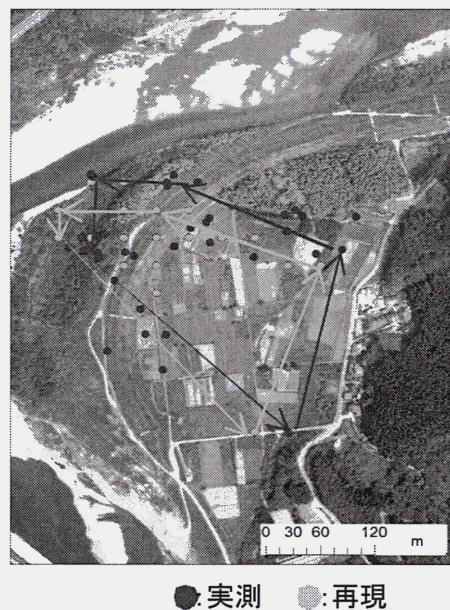


図-13

PHABSIM, Habitat Evaluation Procedure: HEP) 等の時間的に不連続で単純なモデルでしか推定出来なかった野生動物の生息適地を、本研究で提案する手法を用いれば、空間的・時間的に連続的に野生動物行



動予測が可能であることを示している。

また、野生動物行動予測手法は、物理生息場モデル等では配慮出来なかった、行動生態学的要素（例えば、採餌・エネルギー消費等）を含めた、より生態学的分析が可能であることを示し、野生動物の生息環境評価等に新たな可能性を提示すると考えられる。

### 3.2.4 まとめ

本節では、中型哺乳類（アナグマ）を対象に、エネルギー収支を考慮した餌場への移動、移動時に植物群落選好性を考慮した行動予測手法を開発した。その結果、アナグマの行動特性（山間地と河川高水敷の周遊行動、周遊コース等）を良好に表現できる野生動物行動予測手法の開発に成功した。

## 3. 3 河川中流域の魚類の行動予測手法の開発

### 3.3.1 はじめに

前節では、比較的、行動生態学、運動生理学的研究の蓄積がある中型哺乳類を対象に行動予測手法を開発した。中型哺乳類と比較して、運動生理学的研究が少ない魚類では、中型哺乳類のような多くの要素を考慮したモデルの作成は困難な点が多い。そのため、魚類では流速、水深等の物理環境に主に着目し行動予測手法を開発する。

### 3.3.2 モデルの概要とその検証

2章3節ではATSを用いて、降下期直前のアユ1個体の行動を2週間追跡した。その結果、アユの行動圏は平均約6,000 m<sup>2</sup>、主に水深が深い箇所や流速の遅い箇所を利用した。また、放流後、1週間で上流側の淵へ移動した。

アユの利用した空間の一般的な特性に関しては、巡航速度以下（体長の2~3倍の流速）でかつ体高と比較してその数倍以上深い空間を選択することを明らかにした。

これらの結果を踏まえ、魚類の行動予測手法は、大きく分類して、①ホームポジションの探索、②ホームポジションを中心とした回遊、③上流側の淵への移動と再度のホームポジション探索、以上の順序で構築した。空間の選択条件を、①から③までのプログラムの概要を図-14にまとめる。

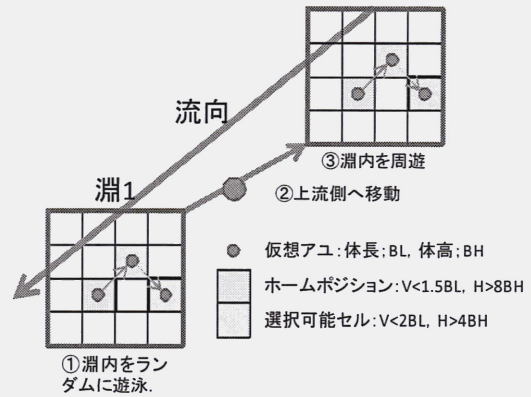


図-14

第1段階のホームポジション探索では、流速が体長の1.5倍程度、巡航速度と比較して遅く、水深が体高の8倍よりも深い、深めの水深の空間を選択することとした。第2段階のホームポジションを中心とした回遊では、流速が体長の2倍以下、水深が体高の4倍よりも深い場所を選択可することとした。なお、選択可能セルが複数ある場合には、ランダムに選択可能セル内から選択し、セル選択の回数が一定値以上に達した場合に、上流側へ移動することとした。第3段階の上流側への移動時には、選択可能セル内から経路選択し、上流側の淵へ移動、その後、第1段階のホームポジション探索と同様の手順で、定位位置を探索する行動をとることとした。

### 3.3.1 結果

モデルは、アユ2の行動圏を良好に再現した。構築したモデルが行動範囲を再現したことは、降下期前のアユが必要とする空間特性とその選択行動を定量的に模倣することが出来たことを示している。今後、開発したモデルをベースにプログラムを発展させると同時に他の河川でのデータを加えモデルを発展させ、アユの空間選好性を理解することにより、今後のアユの生息場保全に関して、重要な情報を得ることが出来たと考えられる。

### 3.2.3 まとめ

本節では、アユを対象に、流速・水深の選好性を考慮した行動予測手法を開発した。その結果、作成したアユの行動モデルは、良好にアユの行動圏、上流側淵への移動経路等を再現した。

## 4. 野生動物行動予測手法の実用性の向上



#### 4.1 はじめに

本章では、2章・3章の成果を受け、野生動物行動予測手法の実用性を向上させ、河川事業・河川管理への適用性を向上させることを目的とする。実用性向上に向けて、①ATSの実用性向上、②野生動物行動予測手法の他河川への適用を通じた実用性検証を目的とする。①の実施背景は、本課題で提案する野生動物行動予測手法は、ATSによるデータ取得の後、モデル構築を行っていくことが基本的な流れとなるため、ATSが一般的な河川に適用できなければ、野生動物行動予測手法の基礎データの収集が不可能となるためである。次に、②の実施背景は、野生動物行動予測手法の真の実用性を向上するためには、特定河川に限定せず、対象河川に軽微な変更で対応できる一般性を持った野生動物行動予測手法である必要がある。

本章では、①の課題への対応として、ATSの汎用性向上の取り組み、②の課題への対応として、野生動物行動予測手法をアユの水産資源保全活動が盛んな信濃川水系魚野川に適用しその実用性を検証した結果を報告する。

#### 4.2 ATSの実用性向上

##### 4.2.1 普及化に向けたATS課題点の整理

魚類を始めとした野生動物は、必要に応じて河川内を移動し、様々な空間を利用する。魚類の生態を深く理解するためには、魚類行動に応じてATSを移動し、継続して観測する必要がある。そのためには、ATSの可搬性が高い必要がある。しかし、現状のATSでは、ATS受信局を構成する機器は大きく複雑に結線され、可搬性は低かった。これは、ATS受信局では、指向性アンテナを回転させ電波信号の計測後、量子化し数値計算処理を行っているため、この計測・量子化作業により処理するデータは、1回数MB程度と大きく、データの計測・処理が高速に行える高機能のCPUを有するパソコン、ADボード等を必要とした。その結果、ATS受信局の機器は大型化・精密化していた。副次的に、ATS受信局を安定動作させるため、雨滴を遮断し安定した動作環境（温度・湿度等）を作る堅牢な筐体が必要になった。また、ATSは電源機能の面で課題があった。上記の機器を利用するには、安定した電源供給が望める商用電源の利用が必要であるが、商用電源の敷設は、電源路の関係から設置場所が限定され、設置場所の自由度、高頻度の設置しなおしには、対応できないという課題があった。

繰り返しATSを移動させ観測を行う場合、ATSの制御局と受信局間の通信制御を行う無線LANも多く、の課題があった。無線LANの設置作業は、技術的難度も高く、多くの労力を必要とした。通常、無線LANは、通信環境が安定した都市部での利用を前提に設計されている。そのため、河川のように通信環境の安定しない場所では、無線LAN設置に多くの作業時間を必要とした。

上記で挙げた理由から、ATSの設置には多額の費用を必要とし、その費用はATSを設置する度に必要となる。ATSの普及化には、ATSの設置費用の削減は絶対的に必要な条件となる。

維持管理の面での課題もある。ATSの観測を行う際、観測状態監視や観測停止時の対応が必要となる。ATSは遠隔監視が出来ず、現地巡視員による保守管理が行われ、コスト面でも課題があった。また、ATS受信局の操作は、一定以上の情報工学に関する技術が必要のため、保守人員の確保の面でも課題があった。

##### 4.2.2 ATS普及化に向けた改良

上記の技術的課題点を改良するため、以下の技術的改良を実施し、ATSを改良した（図-15）。

第1段階として、小型計測機器・太陽電池パネルを利用したATS受信局の小型化を行った。ATSの設置場所自由度の向上のため、ATS受信局の小型化を行った。改良型ATSでは、ノートパソコン（以下、NPと記述する）、USBで動作可能なA/Dモジュールを採用し、小型化、軽量化及び省電力化を図った。省電力化は、後述する太陽電池パネルの利用を考慮した場合、小さな電源負荷が望ましいと判断したためである。可搬性を向上させるため、ATS受信局を構成する機器を、小型筐体内に配置し、一つの収納ケースに格納した。電源は、太陽電池パネル及びバッテリーを用いた。これは、春季から秋季にかけては多くの日射量が望まれることから採用した。

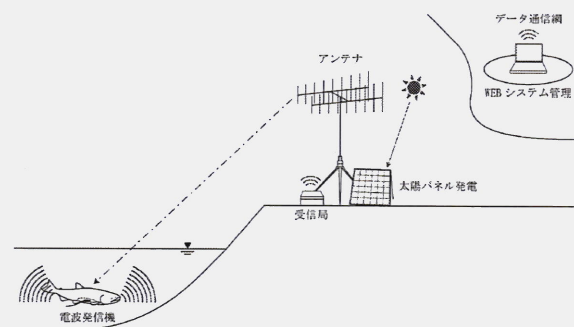


図-15



これらの2つの改良により、商用電源に依存せず、設置場所を選定できるのと同時に、可搬性を向上させた。

第2段階として、無線LANを用いない同期計測、FOMA網を用いたデータ伝送方式を採用した。ATSにおいて無線LANは、制御局から観測命令を送信し、各受信局の観測制御を行う機能、各受信局で計測したデータの制御局への伝送に用いられている。これらの観測・制御は、主に同期計測（複数の受信局で同じ時刻に計測する）のために用いられている。

しかし、同期計測にはいくつかの方法が存在し、観測制御が唯一の方法ではない。各受信局が同時刻に観測を始め、同程度の観測時刻で計測、数値計算を終了することで、観測制御を代替できる。この代替の実現には、各受信局のNPのシステム時刻の管理と計測・数値計算時間の安定が必要になる。

NPのシステム時刻管理の実現には、近年、発達が著しいデータ通信網を利用した。各受信局のNPからインターネットを介してシステム時刻を日本標準時に定期的に同期させ、NPのシステム時刻を正確に合致させた。各受信局のNPは、正確に同期させたシステム時刻を判断し計測を開始する機能とした。計測・数値計算時間の安定については改良を試みたが、後述する。

同期に用いたデータ通信網は、無線LANで用いられていたATS受信局から制御局へのデータ伝送機能も補う。後述するWEBサーバ上のデータベースに各受信局が一定間隔で受信データを書き込む機能を実装した。

安定した受信計測を実現のため、電波計測・数値計算の分離方式を採用した。ATS受信局では、電波計測、数値計算が一連の流れ（直列処理）で構成されていた。既往調査の計測では、電波計測は比較的安定して行われるが、数値計算に要する時間は、調査地の電波雑音状況により大きく増加する。ATSでは、高性能なパソコンの利用、無線LANを用いた観測制御、が行われたため、数値計算に要した時間の増加を調整し、同期観測を維持することが出来た。しかし、改良型ATSの受信局の構成機器の能力では数値計算能力に限界があり、各受信局の数値計算時間が一定しない。これは、無線LANを用いずNPのシステム時刻を基に一定時間間隔で計測することを想定する改良型ATSでは大きな課題であった。すなわち処理時間が不定、特に測定に長時間を有すると次回の測定までに一連の処理が終わらない可能性がある。このため、改

良型ATSでは、電波計測と数値計算の直列処理を分離し、並列処理とした。これは、電波計測が行われていなく、NPのシステム資源が比較的空いている時間を利用して、処理負荷が大きい数値計算を行うことにより、一定時間での処理が可能な処理構造とした。

現地観測の維持管理費削減のためにWEB技術を活用した。ATS受信局では、遠隔監視、データ回収等を行うため、WEBサーバ上にデータベースと解析（交点算出）を行うプログラムを配置した。これによりATSで行われていた制御局へのデータ収集と制御局での解析機能をWEBサーバ上に移転し、制御装置の設置・維持管理に係るコストを削減した。改良型ATSの各受信局は、任意の設定間隔でWEBサーバ上のデータベースにデータ（電波受信に関するデータ、受信局の太陽電池パネル発電量、蓄電量等）を書き込み、これらのデータは、WEBにアクセスできる観測者がダウンロード可能とした。WEBサーバ上では、各受信局からのデータ更新状況を監視し、1時間以上データの更新がない場合には、データを送信しない受信局が停止したと判断し、観測者に受信局の停止を知らせるメールを送付する機能を付与した。また、改良型ATSでは、交点算出結果をWEB地図（Google Map）上に自動表示する機能を付与した。

これらのWEB技術の活用により、受信局の停止時、曇天の連続により太陽電池パネルの発電量低下及びバッテリーの蓄電量の減少が生じた時だけ、現地巡視員が保守を行う形態になった。これらにより、定期的な観測巡視の必要性が少なくなり、現地観測の維持管理費は大きく削減された。

これらのシステムの開発により4.3節以降述べる信濃川水系魚野川におけるアユ調査、信濃川水系信濃川におけるサケ調査が低コストで可能となった。

### 4.3 野生動物行動予測手法の信濃川水系魚野川への適用を通じた実用性検証

#### 4.3.1 信濃川水系魚野川の調査の概要

調査は2009年9月15～9月30日にかけて、新潟県魚沼市に位置する信濃川水系魚野川における小出地区および町屋地区で行った（図-16）。小出地区は、信濃川・魚野川合流部から約13kmの地点に位置し、魚沼市市街地を流下する。平均川幅150m、河床勾配は1/333である。小出地区では、佐梨川、破間川及び羽根川等、複数の支川が合流する。町屋地区は、合流部から約20kmに位置し、平均川幅120m、河床勾



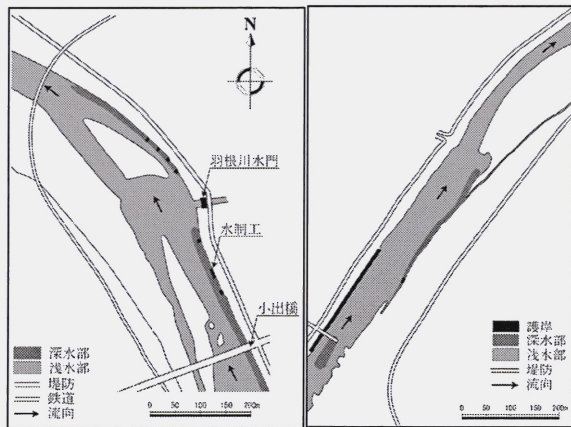


図-16

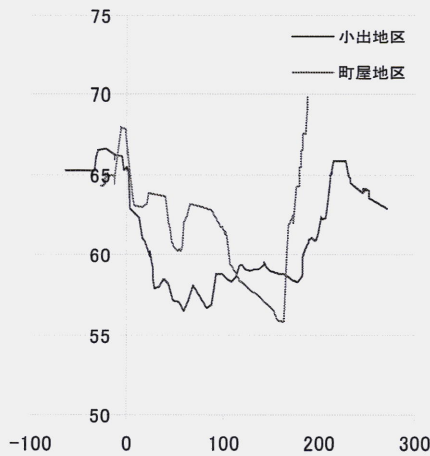


図-17

配は 1/312 である。町屋地区周辺では、大規模な支川の合流はない。両地区の比較を比較すると、小出地区では町屋地区と比較して、河床勾配は急勾配で川幅は広い傾向がある。そのため、複列砂州傾向があり、平瀬、早瀬、淵、滞の河床型区分は明瞭であり、町屋地区よりもアユの生息空間多様性が多い地区であると言える。一方、町屋地区は小出地区と比較して水深が深く、全体的に流速が早い場所が多いことが特徴で、小出地区と比較して単調であると考えられる(図-17)。

### 2-2. 野生動物自動追跡システム(ATS)の概要と精度

ATSの受信局を、小出に2局、町屋地区に3局、約200m間隔で設置し、アユの行動追跡調査を実施した。ATSの位置特定精度の検証は、以下の方法で行った。両地区の瀬・淵内に1点、合計4点の電波発信機を固定した(以下、固定点と記述する)。ディファ

レンシャルGPS(以下、DGPSと記述する)を用いて、固定点の緯度経度を計測した。次に、ATSを用いて固定点の電波発信機の緯度経度を算出し、DGPSとATSで算出した座標を比較・検証した。その結果、誤差の最大値は約30mであり、ATSは概ね30mの精度で位置特定が可能であった。この精度は、既往研究で得られた精度レベルと合致していた。

電波発信機は、直径8.2mm、長さ19mm、水中重量約1gのものを使用した(LOTEK社のMCFT-3GM)。町屋地区近傍の築場で供試魚としてアユ成魚4個体を購入し、各調査地区に2個体ずつ運搬した。調査地にアユを運搬後、調査地内で電波発信機の装着を行った。メスでアユの腹腔を約15mm開腹し、電波発信機を挿入後、腹腔を縫合した。その後、調査地内の生簀で流水中に供試魚を約20時間蓄養し、平成21年9月15日に調査地の中央部へ放流し、ATSによる行動追跡を開始した。なお、電波発信機の重量はアユ供試魚体重の2%以下であること、放流後のアユ行動の目視観察の結果から、アユの行動は発信機装着の影響を大きく受けていなかったと推定された。

ATSは、水中から発信される微弱な電波の電波到来角を計測するため、陸上の構造物等の電波反射物の影響を大きく受ける。小出地区のように調査区域周辺に大型の橋梁場所等がある場所では、受信局の電波受信状況は構造物からの反射波の影響を大きく受けるため、ATSのデータ中に信頼性の低いデータが含まれていた。そのため、以下の手順でデータの精査を行った。(イ)小出・町屋両地区におけるATS設置時の電波受信状況調査や位置精度結果の検証時の傾向から、反射物の影響を整理した。(ロ)各受信局の全受信データから、反射物の影響が大きいと判断された方向を電波到来角としているデータを抽出した。(ハ)反射物の影響を受けたと判断されたデータを除去した。

(ニ)アユの行動データをプロットし、短時間での長距離の移動等をアユの行動として不自然と考えられるものは除去した。

現地踏査により、瀬(平瀬・早瀬)、淵等の分布を調査した。小出地区は瀬(riffle)、主流部(mainflow)、低流速部(lowcurrent)、砂州周辺部の浅水区(shallow)の4分類に、町屋地区は、前記の分類に加え淵(pool)を加えた5つに分類した。町屋地区を5分類としたのは、小出地区と比較して深い低流速部が多かったためである。

現地踏査の結果をもとに空中写真で河川内流況の



分布域を確認した。その過程で、既往研究で用いられる瀬・淵等の景観分類は、空中写真から判読できる河川内の流況（主として水深）や水面の状況（瀬の白波等）から定量的に推定できると考えられた。このため、以下の手順で、景観分類図を作成した。2008年撮影の空中写真を画像解析ソフトに取り込み、現地調査で得た景観分類をコントロールデータとして用いて教師付分類を行い、現地踏査による景観分類と概ね一致するまで、画像解析を修正した。

日周期ではアユが日の出前後と日の入り前後に最も活発に摂餌するという知見（石田 1988）から 20:00~5:00, 5:00~8:00, 8:00~17:00, 17:00~20:00 の4つの時間帯に分類して結果を整理した。

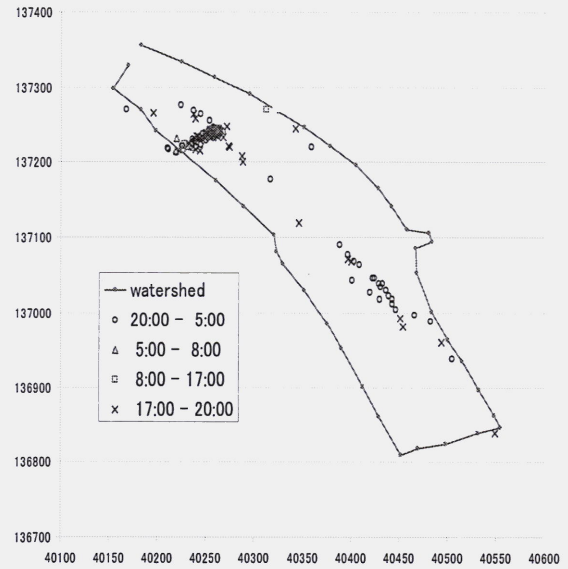
アユの行動データと景観分類の結果を、地理情報システム（GIS: ESRI 社 ArcGIS9.3）へ取り込んだ。同様に、画像解析結果も GIS へインポートし、両地区のアユ行動データに最も近い景観分類と関連付け、整理した。アユの行動データの分類と河川流況の分類結果を関連づけ、時間帯ごとのアユの行動特性を考察した。

#### 4.3.2 アユの行動追跡結果

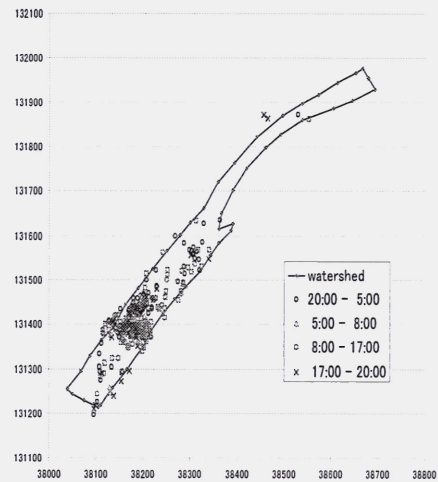
川那部（1970）によると、アユは瀬を最も適当な生息場所として選択しており、瀬ではアユ生息密度が高く、淵はアユ収容能力が高いものの瀬と比較すると選好されることが少ない。また、石田（1988）は、アユの日周行動は淵の生産力とアユの密度によって変化するとしたうえで、生産力が小さい淵は瀬を利用するアユの休息場となり、夜間は淵を利用し日中は瀬で摂餌しており、一方で生産力の大きな淵では、瀬とは一応関係なく生息するアユの一群が存在するとしている。

アユの巡航速度に関しては、稚仔魚の知見は多いものの成魚の知見は少ない。アユの選好流速について、本田ら（2006）は室内実験において成長期（体長 13~16cm）のアユを詳細に調べている。同研究ではアユは夏季の成長期に早瀬を好み流速約 43cm/s を選好し、産卵期には流速約 33cm/s を選考することが報告されている。また体長が大きい個体ほど 50~60cm/s といった早い流速を選好することも報告されている。水路内のアユ行動特性としては関谷ら（2005）が模型水路実験において、アユは走流性が強く、壁際に沿って遊泳遡上し、日陰を好むという結果を得た。

ATS によりアユの位置座標およびその時刻を取得



小出地区



町屋地区

図-18

した。各調査地区におけるアユの位置を図-18に示す。小出地区では9月16日~9月28日に2個体合計でプロット数 177 点を取得した。小出地区ではいずれの観測日も位置プロットは同様のパターンを示したことから、発信機の装着がアユの行動へ及ぼす影響は少なかったと推察した。小出地区では受信したアユ位置座標は 20:00~5:00 の時間帯のプロットに偏っていた。また、受信局からの延長線上にプロットが集中する傾向がみられたが、これは電波伝搬上の問題であると推察された。町屋地区では9月16日~9月29日に2個体合計でプロット数 303 点を取得した。町屋地区では各時間帯ごとに比較的均一にアユ位置座標が受信できており、8:00~17:00 の日中はプロットが集



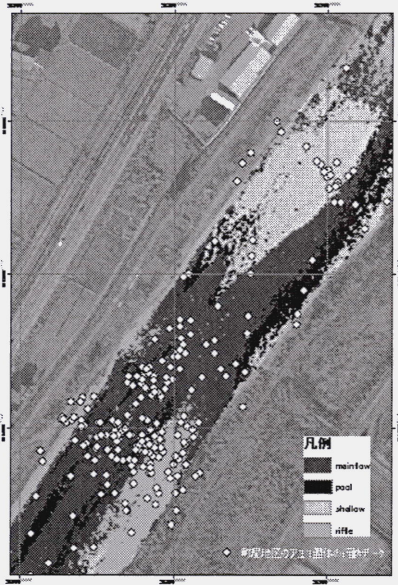
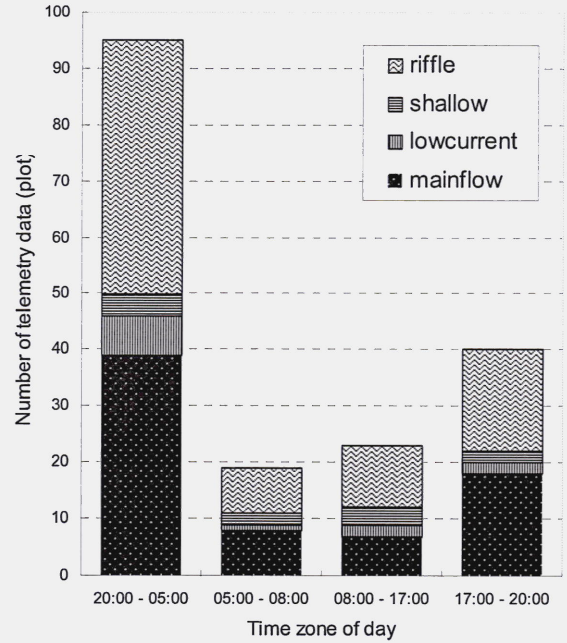


図-19

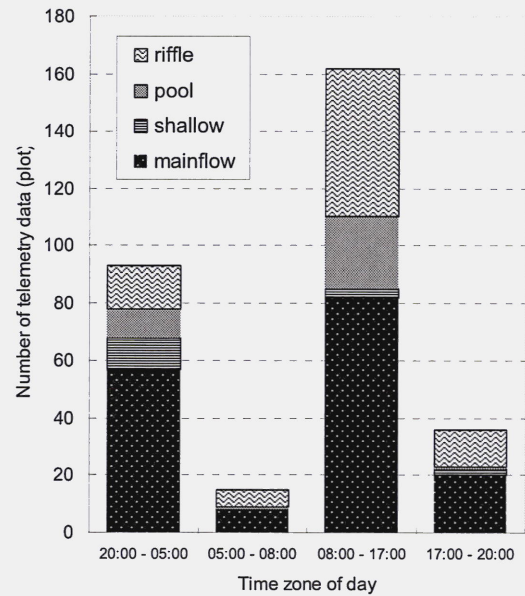
中している箇所と分散している箇所とに分かれ、20:00~5:00の夜間のプロットは岸際あるいは瀬と淵の際に位置する傾向がみられた。

画像解析により、小出地区の空中写真を4区分に分類した画像とアユの行動データ関係性を図-19に示す。図-20では、アユの行動に影響を与えた流況分類のみを示す。また、ATSの誤差特性を考慮して河岸部をアユが利用した可能性のある点は、プロットした。小出地区では多くのプロットが瀬の領域に位置しており、比較的水深が浅い部分を利用していることが示唆された。町屋地区でも多くのプロットが瀬あるいは砂州周辺の浅い領域に位置していたが、動きは少ないものの日中に淵を利用していると考えられるプロットも確認された。これらの結果は、成長期のアユは淵よりも瀬を好むといった知見や走流性が強いといった知見を支持していると考えられる。

アユの位置座標と時刻のデータから、日周における時間帯で集計した各調査地区2個体の合計プロット数を図-6に示す。小出地区においては、アユは20:00~5:00の時間帯で瀬と主流部を主に利用していた。また、低流速部のプロット数は少ないものの低流速部を利用している時間帯は20:00~5:00に多かった。町屋地区においては、淵を利用する時間帯は主に20:00~5:00と8:00~17:00であった。また、主流部を筆頭に瀬、淵、浅水部の順で河川内流況を選考していたが、この順番は川那部(1970)の知見を概ね支持していた。小出地区と町屋地区とを比較すると、どの



小出地区



町屋地区

図-20

時間帯においても瀬あるいは主流部を多く利用している点が共通していた。また、日出前後である20:00~5:00と8:00~17:00および日没前後である17:00~20:00の時間帯は両地区とも流れが緩やかである低流速部および淵の利用が少なく、この傾向は朝と夕方に特に多く摂餌するという知見(石田1988)を支持していると考えられる。

#### 4.3.3 野生動物行動予測手法の改良



魚野川でのアユ行動追跡の結果、アユは千曲川で確認された淵内を周遊し上流へ移動する行動に加え、下流へ降下する行動も確認された。千曲川での行動追跡が8月下旬から9月上旬であったのに対し、魚野川での行動追跡が9月中旬から下旬で、より降下期に近かったためと考えられる。そのため、3.3.2 で概説した③上流側の淵への移動を改良し、上下流側への淵への移動とした。プログラムは、下流側への移動も選択可能とし、上下流の選択は、下流側への移動を選択する確率を上流側へ移動する場合よりも多く出現する確率操作とした。

#### 4.3.4 改良後の野生動物行動予測手法の精度検証

図-21 に魚野川町屋地区における下流側へ降下したアユの行動再現結果を示す。モデルは、再現対象のアユの行動圏、降下経路の傾向を良好に再現した。構築



図-21

したモデルが行動圏・降下経路を再現したことは、降下期前のアユが必要とする空間特性とその選択行動を定量的に模することが出来たことを示している。また、千曲川で作成した行動予測手法に軽微な変更を加えただけで、魚野川の行動を再現したことは、行動予測手法の一般性を実証したと考えられる。このように、行動予測手法は、軽微な変更、パラメータフィッティングだけで、別の河川でのアユ行動を再現・予測する可能性を持ち、今後のアユの生息場保全に関して、有用な手法を開発出来たと考えられる。

#### 4.3.5 まとめ

ATS により、信濃川水系魚野川でもアユの日周期

行動データを個体レベルにて取得することが出来た。また、得られたアユ行動データを集計すると概ね既往知見を支持する結果となった。

また、信濃川水系千曲川で開発した行動予測手法を信濃川水系魚野川へ適用し、モデルに軽微な変更を加えるだけで、魚野川のアユで観測された降下行動を再現することが出来、その一般性が確認された。

## 5. 全研究期間を通じた課題

### 5.1 ATS の普及化への課題

本研究期間で実施した ATS の実用性向上（汎用性の向上）で、初期コスト・維持管理コストが少ない ATS へ改良することが出来た。また、民間との共同研究を通じ、ATS 設置・運用が可能な人材を育成が進み、ATS の普及への基本的な準備が整ったと考えられる。

しかし、ATS 普及には、いくつかの課題が残った形となった。1 点目は、電源利用の点で、ATS の運用実績が少なく万全の体制とは言い難い点である。本課題での ATS 調査は、太陽電池パネルでの発電が見込める夏期から秋期を主として実施している。しかし、冬期、特に日本海側のように降雪・曇天が続く地域では運用上の課題点が多い。これらの課題を解決するには、ATS 普及化組織を通じた調査実績の増加等、ATS の積極的な活用を進める必要がある。

### 5.2 行動予測モデルの実用性向上

本研究期間で開発した行動予測モデルの開発で、野生動物行動の再現・予測がかなりの精度で可能とすることが出来た。しかし、追跡個体数・追跡対象種が限定されている点は否定できない。

今後は、ATS の適用動物や考慮事項を増やし、より野生動物の行動生態を正確に反映する高度なモデルへ発展させるとともに、河川管理の現場で活用がしやすい簡便な評価方法への改良を行う必要がある。この改良を通じ、より深く野生動物の行動・生態を決定づける環境因子を抽出し、河川管理で実施できる内容で野生動物の生息空間保全に活用できるポイントに整理していく必要がある。

### 5.3 個体予測から個体群管理への展開

本課題では、主として個々の野生動物行動を追跡しモデル化することに力点を置いた。実際の河川生態系及び生物多様性保全の現場では、個体群保全が最も基



本的な保全活動となる。本課題で提案した手法の特徴として、野生動物の個体特性と環境因子の関連づけ、その関連性が行動を決定づける点が挙げられる(例えば、魚類の体長、それに伴う巡航速度の算出)。この特徴は、言い換えれば、個々の野生動物の個体特性の差異が環境因子の選好性、行動に与える影響を推定することが可能であることを示す。外挿的側面が強いが、野生動物行動予測手法上で、個体特性の異なる野生動物を多数生成し、個体群を模すことにより、環境因子の変化が個体群に与える影響を推定することが出来る。その後、ATS による詳細な行動データと仮想的に模した個体群内の類似個体の行動を比較することにより、その信頼性を検証することが可能であると考えている。今後は、上述の内容を継続課題の中で実施し、個体群保全の現場で活用できる手法へ展開していくことが重要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所：独立行政法人土木研究所中期目標期間の業務実績報告書, pp.161, 2006
- 2) S.E. Jorgensen : Ecological Modeling an Introduction, pp.2, WIT Press, 2009.
- 3) Ivlef
- 4) 皆川朋子・萱場祐一：アユ、オイカワの餌資源としての河床付着膜に対する選択性, 日本生態学会大会講演要旨集, Vol.57th, Page.479 , 2010
- 5) 川那部浩哉・森主一・水野信彦：湖上アユの生息密度と淵の利用のしかた, 日本生態学会誌, Vol.7, No.1, pp. 22-26, 1957
- 6) 水野信彦・川那部浩哉：なわばりの密集した地域におけるアユの行動, 日本生態学会誌, Vol.7, No.1, pp. 26-30, 1957
- 7) 永矢貴之・白石芳樹・鬼束幸樹・秋山壽一郎・畑中弘憲・中川由美子・東野誠・高見徹・大塚法晴・尾関弘：瀬と淵におけるアユの生息適正の相違およびその要因の解明, 水工学論文集, Vol.50, NO.205 (2006)
- 8) 森直也：沿岸域におけるアユの生態特性の解明及び遡上量予測技術の開発(国委)-日本海側のアユの生態特性の解明, 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, No.33, Page.40-42 , 2009
- 9) 玉井信行・浅枝隆・池田裕一：河川における鮎の移動と分散, 水理講演会論文集, Vol.31st, Page.317-322 (1987)
- 10) 鬼束幸樹・秋山壽一郎・山本晃義・渡邊拓也・脇健樹：河川に生息する数魚種の突進速度に関する研究 -アユ, オイカワ, カワムツ, ギンブナを対象, 土木学会論文集 B, Vol.65, No.4, Page.296-307 , 2009
- 11) 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
- 12) L.David Mech : Handbook of Animal Radio-Tracking, University of Minnesota Press, 1983
- 13) Robert Kenward : Wildlife Radio Tagging, Academic Press, London, 1987
- 14) 土木学会水理委員会編：水理公式集, (株)丸善, pp.158, 1999.
- 15) 石田力三：アユその生態と釣りアユのすべてがわかる本, つり人社, pp.66-68, 1988
- 16) Kleiber, M.: The Fire of life, John Wiley & Sons, New York, 1963
- 17) Tucker, V.: Energetic cost of locomotion in animals, Comp. Biochem. Physiol., 34:841-846, 1970



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

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY 2005-2010

**Research Team** : Water Environment Research  
Group(River restoration)

**Author** : MIWA Junji

DENDA Masatoshi

**Abstract** : In this study, we settled following three objects and research to develop the estimation and monitoring method. Object1: disappear of relationships between behavioral pattern of wildlife animal (middle mammals, fishes in middle flow area of river) and physical environment. Object2: Development of prediction methods of wildlife animal behaviors. Object3: progress of utilization of the prediction methods. In the results, we cleared the following results. Object1: behavioral style of middle mammals was affected by vegetation community and distribution of feeding area, and the pattern of the fishes was affected by current velocity distribution which was lower than cursing speeds. Object2: We developed the prediction method improving individual based models (IBMs) which were researched in Ecological modeling. Object3: We improved Advanced Telemetry System (ATS) which can automatically tracks animal behavior. And we applied the prediction method to the other sweet fish community in the Uonogawa River and confirm generalizations of the prediction method.

**Key words** : River improvement, Fish, Middle Mammal, Telemetry, Behavioral modeling