

## (2) 多自然型川づくりに資するための魚の行動圏調査

### Field survey on fish home range for river conservation works

佐々木丞\*、関根雅彦\*\*、後藤益滋\*\*\*、浮田正夫\*\*、今井剛\*\*

Tasuku Sasaki, Masahiko Sekine, Masuji Gotou, Masao Ukita, Tuyoshi Imai

**ABSTRACT:** Yang (1999) revealed that fish home range is an essential factor to estimate the importance of the coexistence of pools and rapids in river habitat. Minns' formula, which is defined for rivers and fish in North America, is one of the rare studies on fish home range. In this paper we examined the applicability of the formula to Japanese rivers and fish by using radio telemetry technique. We attached a radio transmitter to dark chub, crucian carp, common carp, Japanese dace and pike gudgeon, and tracked their behavior in rivers. The observations support the importance of the coexistence of pools and rapids. Shelters during the flood periods are also indispensable for fish. Although they showed a similar home range size with Minns' formula during one to three days, they showed much larger home range for longer periods' observation. Usually they stay within Minns' home range but occasionally they trip a long distance to a nearby habitat.

**KEY WORDS:** IFIM, Home Range, Minns equation, transmitter

## 1. はじめに

### 1.1. 研究背景

現在、魚類の生息環境評価手法として最もよく用いられているものの一つに、米国で開発された IFIM (Instream Flow Incremental Methodology)がある<sup>1,2)</sup>。この IFIM の中で物理環境の評価を受け持っている PHABSIM (Physical Habitat Simulation Model)は、河川環境を代表する因子をいくつか抽出して、魚の生息場ポテンシャルを推定する方法である。PHABSIM では河川をセルと呼ばれる微小区間に分割し、それぞれのセルについて独立して選好値を算出する。そして全てのセルの選好値をセル面積に乗じて足し合わせることで対象河川の WUA (重み付き利用可能面積)を得る。WUA が大きくなるほど当該魚種にとって良い環境ということになる。この考えから、例えばアユなどの日中瀬で盛んに摂餌行動を行っている魚種に対しては、流速が早く、水深の浅い環境を好むような選好曲線が作成され、その結果、平瀬ばかりが続く河川改修が良い、といった結果が得られる。日本でも PHABSIM は使用しないまでも、類似の考えから平瀬が続く河川改修を行うといったことが実際に行われてきたが、かならずしも成功していない。アユは夜間などには休息場としての淵も必要としており、平瀬ばかりの単調な河川構造では総合的な生息場としての価値が下がってしまい、結果的に魚の分布が少なくなると考えられるのである。これは生息環境として瀬と淵のリズムが必要な理由の一つであり、これを考えていないことが、これまでの PHABSIM では瀬と淵の組み合わせの重要性をうまく取り扱えない理由となっている。

楊はこれらの問題点を踏まえ、魚の行動モードの存在を実験的に明らかにした上で、流速、水深、遮蔽の各環境因子に対して異なる行動モード毎の選好曲線を作成した<sup>3)</sup>。モードとは、餌を求めて広く動きまわって餌を摂食する摂餌モード、摂餌後や休息時の休息モード、外敵や増水から避難する逃避モード、産卵のための場所を探す産卵モードなどである。また、摂餌場、休息場、逃避場及び産卵場は魚の行動圏を越えると魚が感知できず無効の場になるという考えから、行動圏を用いて個々の行動モード時における選好強度式を統合した式を開発した。これらを用いた生息環境評価手法の提案により PHABSIM のいくつかの問題点が解決されている。図1に楊の総合選好強度の概要を示す。

楊の研究で重要な位置を占めるパラメータとして、行動圏がある。ところが、魚の行動圏についての研究は少ない。比較的まとまったものとして、北米の河川・湖沼での標識放流やテレメトリによる魚の行動研究の文献調査から行動圏を求めた Minns の式<sup>4)</sup>があげられる。河川魚類に対する Minns の式は以下の通りである。

$$\log_e H = 3.43 + 0.53 \cdot \log_e WT \quad (1)$$

ただし、WT: 魚の体重 (g) H: 魚の行動圏(m<sup>2</sup>)である。

楊の研究でも、Minns の式を用いて行動圏を定めている。しかし、Minns の式が日本の河川、日本の魚種に適用可能かどうかは確認されていない。

### 1.3. 本研究の目的

本研究の目的は、魚に発信機を取り付けて魚の行動を追跡することにより、これまでの観察や採捕による方法では断片的とならざるを得なかった魚の瀬や淵の利用様態をつぶさに明らかにすることである。また同時に、魚の行動圏を明らかにし、Minns の式の日本における適用可能性を評価することを試みる。

## 2. 行動圏調査

### 2.1. 調査方法

追跡調査に用いた受信機は八重洲無線株式会社製 FT-290mkII、発信機はアルキテック社製のテレマウス TLM-2 である。TLM-2 は 20×10×5mm の樹脂モールドされた本体から 130mm のしなやかなアンテナが伸びた形状を

しており、空中重量 2.4g、水中重量約 1g、電池の持続時間は 6 ヶ月、電波の到達距離は、空気中での実測で 160m、河川中では経験的に 50~100m である (図2)。なお、発信機の空中重量が体重の 3% 以下なら魚の行動に影響はなく、平水時なら 4~5% でも可能であるとされている<sup>5)</sup>。これから

ばやく水槽から取り出し台の上で手術を行った。小型の魚には手術用のネスコスーチャー滅菌針付ナイロン製縫合糸、大型の魚には手芸用透明ビーズゴム（直径0.8mm）を用いて背鰭の前に縫いつけ、結び目を瞬間接着剤で固定した。魚の位置特定は、アンテナを360°回転させて受信機の受信感度目盛りが振れる方向を調べ、その後受信機の感度をできるだけ小さくしながら魚の存在地点を直線上に特定する。この動作を2箇所で行い2線の交点に魚が存在するものとした。

## 2.2. 真綿川調査

対象河川は宇部市を流れる真綿川中流域の調査区間長約310mである。1999年10月18日に上流側の瀬のすぐ下で、発信機を取り付けたフナ2尾（体長L=23cm, 体重W=170g; L=20cm, W=130g）とカワムツ2尾（L=14cm, W=16g; L=16cm, W=21g）、カマツカ1尾（L=18cm, W=51g）を放流した。カワムツ2尾については発信機の装着可能体重を下回っていたが、術後の不審な挙動も見られなかったため参考として調査に加えた。以後、受信可能であった最終日である11月18日までの間、1日1回の位置確認と各魚ごと2〜3回の24時間調査を実施した。調査期間中の流量遷移を図3に示す。図中の矢印は、魚が生存し、発信機が正常に装着されていたと思われる期間である。やはり体重の不足するカワムツについては有効調査期間が短くなっている。

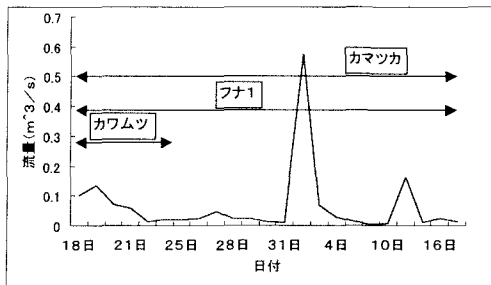
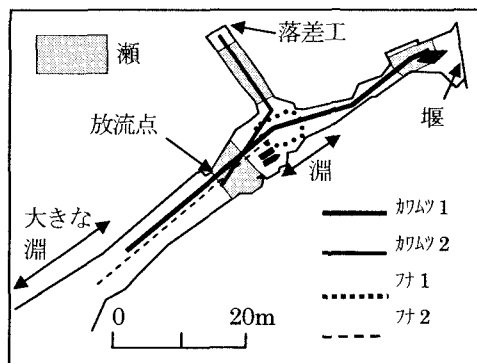


図3. 真綿川における調査期間中の流量遷移と魚種毎の有効調査期間



の調査を計画した。それが本節の阿武川と次節の大田川における調査である。

対象地域は流域面積 635km<sup>2</sup>、流路延長 66.3km の 2 級河川である阿武川水系阿武川の上流部(山口県阿武郡阿東町徳佐地内)である。放流点より上流 560m の地点に可動堰が設けられており、この地点より上流への遡上は不可能と考えられる。下流方向には数キロメートルの間横断工作物はない。底質、流況は放流点付近から上流の可動堰までは主に砂とシルトの混じった底質を有する淵の状態が続く、放流点から下流は早瀬、トロ、淵、平瀬と環境が変化していく。調査地点を図 5 に示す。

2000 年 6 月 5 日 17 時にカワムツ 2 尾(L=18cm, W=60g; L=17cm, W=70g)、コイ 1 尾(L=26cm, W=222g)、カマツカ 1 尾(L=21cm, W=100g)をそれぞれ同地点より放流し、翌日の 16 時まで 1 時間から 2 時間おきに追跡調査を行い日周運動を明らかにした。結果を図 6 に示す。カワムツは放流してからしばらくは放流点近傍の淵にとどまり、他のカワムツとともに群泳していた。その後、カワムツ 3 については夜間のうちに、カワムツ 2 については淵での夜間の休息を経た後、下流の早瀬の瀬尻～淵頭付近に下り、14 時以降はさらに下流の平瀬に定着した。コイはしばらく付近の淵に留まった後、上流端の可動堰まで遡上し、堰近くの浮き草の下に定着した。カマツカは調査終了まで放流地点付近の淵内で上下を繰り返しておりこの区間に定着したものと思われる。なお、阿武川では川の規模が大きく、これ以降の追跡は成功しなかった。

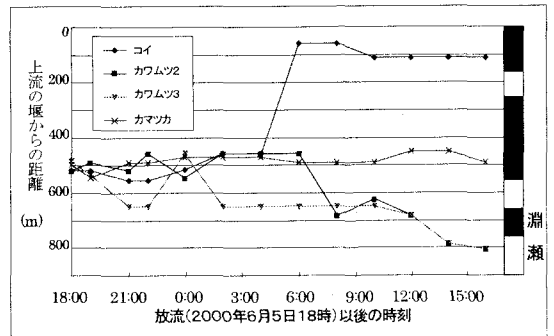


図 6. 阿武川追跡調査結果

(2) 増水時 24 時間連続調査

10 月 9 日の 14:00 から 10 月 10 日の 14:00 まで追跡調査を行った。9 日の 14 時の時点でそれまで調査に使っていたウグイを見失ったため、この調査では新たにウグイ(L=27cm,W=170g)を採集して調査に用いた。このウグイは放流後、下流に移動しつづけ、10 日の 11:00 には瀬々川橋より下流に移動し、調査終了まで瀬々川橋付近に定着していた。フナは放流点から約 230m 上流の巨石に囲まれた淀みに定着し、調査終了まで動きがなかった。コイは放流点から約 300m 上流の河川湾曲部の水衝部にできたワンド状の場所に 10 日 0 時まで留まり、その後、瀬を越えて約 40m 遡上してとろの抽水植物群落の陰に定着した。

(3) 洪水時連続調査

11 月 1 日の 3:00 から 3 日の 8:00 まで追跡調査を行った。フナはこの期間、放流点から約 300 m 上流の河川湾曲部の水衝部にできたワンド状の場所に留まり動かなかった。コイは流量の多い 1 日、2 日は瀬々川橋付近の構造物の影に留まっていたが、流量の減少した 3 日の 8 時には可動堰付近まで移動した。

(4) 長期間継続追跡調査

10 月 10 日から 12 月 5 日まで毎日 14:00 に追跡調査を行った。ウグイは 10 月 11 日の時点ですでに場所の特定ができず、見失ってしまった。コイ、フナの存在位置の時系列グラフを、連続調査時も含めて図 1 0 に示す。フナは放流点から 300m 上流から放流点の上流の橋の下の淵まで移動したが、10 月 31 日には放流点から 300m 上流のとろまで遡上し、以後この地点に定着した。コイは下流へ移動し続け 10 月 31 日には瀬々川付近の淵で確認し、その後はこの付近に定着した。コイ、フナは図 1 0 にみられるように、一つの淵にある期間定着した後大きく次の淵に移動し、再びある期間定着する、という行動を繰り返している傾向が見られる。

3. Minns の式との比較

Minns の式による行動圏は面積であらわされているが、楊はこれを川幅で除し、さらに 2 で割ることで、現在位置から魚が環境を感知し得る距離を示す感知距離として扱った(図 1)。ここでも、真締川調査結果より得られた魚の縦断方向の移動範囲と、Minns の式から計算した行動圏を川幅で除したもの(それぞれ感知距離×2 に相当)の比較を図 1 1 に示す。フナの調査結果は Minns の式と同程度、もしくは狭い。カワムツでは Minns の式と同程度、もしくは

川のコイ、フナにみられるように近接する淵に大きく移動したりすることにより行動圏が Minns の式よりかなり大きくなるように思われる。なお、ウグイはもともと回遊性の魚であり、秋には任意のタイミングで降河を繰り返すことが通説として知られている。このような魚種では Minns の式が適用できないのは当然であると考えられる。

#### 4. Minns の式と調査結果の相違の解釈についての試論

行動圏とは、Minns の定義によれば代謝エネルギーを摂取するのに必要な面積である。大田川におけるコイやフナのように比較的狭い淵にとどまって摂餌した場合は、長期間のうちには必要エネルギーを満たすために別の場所に大きく移動する必要があることは想像に難くない。

この解釈を敷衍すると、カワムツのような回遊性の少ない浮魚で、速い流速を好むが淵もバリアとはならない魚種は、瀬を中心にして Minns の式に近い行動圏を示し、フナやコイのように速い流速を好まないため瀬がバリアとなるものは、もし現在生息している淵が十分な大きさならば、その中で Minns の式に近い行動圏を示し、現在生息している淵が小さければ、ある期間を置いて別の淵に大きく移動する、と言えるのではないだろうか。

さらに想像を逞しくすると、一つの摂餌場の大きさが行動圏より大きければ、魚はその区域から自発的に大きく移動する理由はなく、行動圏より小さければ別の摂餌場に大きく移動していく、と考えられないだろうか。魚にとっては、摂餌場の大きさが行動圏より大きい方が良いのはいうまでもないし、もし別の摂餌場に移動する必要があるとすれば、その別の摂餌場には先住者がいる可能性が高く、結果として代謝エネルギーの要求を満たせないことになる。つまり、川づくりの視点で言えば、どのくらいの大きさの魚を生息させるかを想定するかによって、造成する瀬や淵の大きさを決定しなければならないことになるのではないだろうか。

本研究では、すべての魚種について短期調査、長期調査がともに成功したわけではなく、事例数も限られているため、以上の試論を証明することはできない。さらなる情報の蓄積が必要である。

#### 5. おわりに

##### 5.1 総括

発信機を用いた魚の行動の追跡調査より、カワムツ、ウグイ、カマツカ、コイ、フナの平水時、増水時の行動を明らかにした。平水時にはカワムツは瀬とその近傍の淀みを中心に行動し、コイ、フナは淵に定着する。そしてそれぞれの行動圏内で、日中は比較的浅いところ、夜間は比較的深いところへと移動する傾向がある。ウグイは季節的な理由もあり淵を中心に行動しつつ降河していく。カマツカは日中は淵を中心に行動し、夜間は浅瀬で活動することもある。また、増水時にはコイ、フナはワンド状の部分や植物や構造物の影に逃避することが実証された。

行動圏については、1～数日の短期間では日本の魚種でも Minns の式が成立する場合が多いが、数週間の長期になると Minns の式より数倍

が、結論を得るには至らなかった。現在のところ、Minns の式より得られる行動圏は、実際の行動圏とオーダー的には一致しているが、長期的に見ると小さめの値を与えるという程度に理解しておいたほうが良いのかもしれない。

## 5.2 多自然型川づくりへの提言と今後の発展

現在の多自然型川づくりでは、平水時の水際部の構造ばかりが注目されることが多いが、本研究で得られた増水時のコイ、フナの行動から、増水時の逃避場となるべき構造ないし植生が重要であることが明らかである。低水路を工夫した多自然型川づくりと称する河川改修でも、高水護岸は緑化ブロックを用いて単調な断面の連続とするものがあるが、これは増水時の逃避場の観点からは好ましくない。また、河床構造としては、餌となる水生昆虫や付着藻類の生産の多い瀬ばかりが注目されることが多いが、常識的に淵が生息場であると考えられるコイやフナのほか、瀬を好むと思われるウグイなどにとっても淵が重要な生息域であることが示唆されたことも特筆される。また、瀬を好む魚、淵を好む魚もそれぞれの生息域の中では昼夜で選好する水深を変化させており、真綿川のカマツカのように明確に昼夜で淵と瀬の間を移動するものもみられるなど、瀬と淵がともに存在することの必要性があらためて示された。

最後に、本研究の発展方向について述べたい。本研究の最終目的は、瀬と淵の配置の指針を作成することである。図13は、楊のモデルに適当な行動圏の大きさを設定し、モデル的に瀬と淵の組み合わせを変化させて河川の評価得点を計算したものである。計算の詳細についてはここでは述べないが、この図より、淵のみ、瀬のみより瀬と淵が混在することにより大幅に河川の価値が高まることがわかる。行動圏の大きさが魚種とサイズによって決定できるのであれば、河川規模ごとに、その河川にふさわしい（生息させたい）魚種とサイズを定めれば、楊のモデルを用いることにより河川の価値を高める瀬と淵の配置を提案することができると考えられる。この点に関して今後もさらに検討を加えていく予定である。

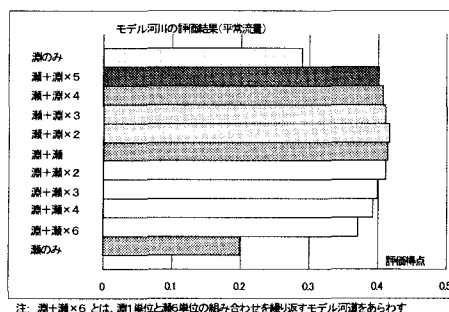


図13. 瀬と淵の適性配置のためのモデル計算結果