

遺伝情報を活用した魚類移動環境の評価

村岡敬子・萱場祐一

1. はじめに

河川に生息する魚類は、繁殖、成長、採餌などのために、河川上流⇄下流、あるいは本川⇄支川⇄水田と必要な環境を求めて移動することが知られている。こうした移動経路上に移動を阻害する構造物などが無い場合には、移動範囲内にいる魚たちは相互に行き来し、繁殖することが可能なため、遺伝的に大きな偏りは生じにくい。しかし、堰堤等によって上下流の活発な交流が阻害されると、堰堤の上下流の地先集団の間には、時間の経過とともに遺伝的な差異が生じることが予想される(図-1)。魚類の遺伝情報からこうした差異を捉えることができれば、魚道機能も含め、堰堤上下流における魚類の移動環境を客観的に評価することが可能となる。

本研究では、河川管理者らがそれぞれの事業の範囲において、遺伝情報による魚類の移動環境評価を可能とすることを目的に、一級河川太田川において(株)建設環境研究所・(株)建設技術研究所・中電技術コンサルタント(株)三社との共同研究を、平成24年度から3年間実施した。本報文では、これらの成果の中から、評価対象種の選定および移動環境に課題を有する堰堤の抽出方法について紹介する。なお、本共同研究の詳細については、共同

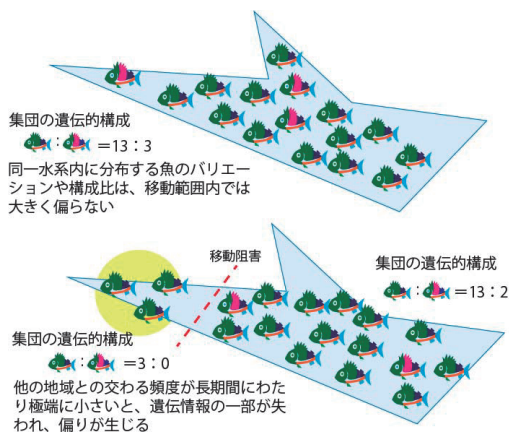


図-1 移動環境の阻害に伴う遺伝的な偏り

研究報告書第478号¹⁾を参考にされたい。

2. 実用化のための課題

実際の河川では、魚種毎に水系内での移動や分散をする範囲は異なり、その範囲が小さい種では、移動を阻害する要因が無い場合でも、離れた地点の集団間で遺伝的な差異が大きくなることが予想される(図-2)。こうした遺伝的な差異は、他地域との交流が絶たれた地先集団における個体数が小さいほど短期間で現れやすい。また、放流等による他水域からの個体の移入に伴う交雑は、移動阻害の有無にかかわらず、交雑集団と元の集団との間の遺伝的差異を大きくする。一方で、出水などによる大規模なかく乱は、各個体の移動分散能力以上の交流の機会を与え、上下流にあった差異を減少させるであろう。

したがって、遺伝的差異に基づき魚類の移動環境を正確に評価するためには、種によって異なる移動分散範囲を把握し、移動環境の評価に適切な対象種を選定することに加えて、対象水域における個体群サイズ、人為的移入の状況、出水が遺伝的交流に及ぼす影響を加味する必要がある。しかし、これを網羅的に捉えるためには、流域内の多地点における複数年の調査が必要であるとともに、多くのサンプルを分析する必要がある。このため、河川管理者らが個々の河川でこのような調査を実施することは現実的ではない。

そこで、本研究では、限られた地点・期間・サンプル数において魚類の移動環境を評価するため

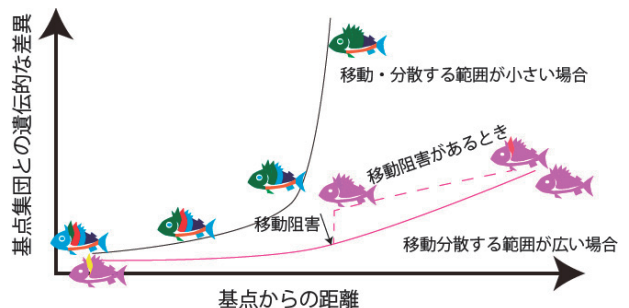


図-2 移動分散能力と遺伝距離のイメージ

表-1 各サンプリング地点の概況

St.	河口からの距離 (Km)	河川横断施設の諸元		魚道の諸元等		予測される遺伝的差異	
		設置年	落差 (m)	設置年	魚道形式		魚道内流況
1	21	堰堤なし				微小	
2	46.9	1925	2.7	1995	デニール・船通し	良好	小
3	49.2	不明	1.65	1995	アイスハーバー	良好	小
4	52	不明	0-0.3	魚道無・河川の主流は鉛直落差を流れる			中
5	58.4	1966	2.2	2006	アイスハーバー	通水無	大
6	59.7	1945	0.45	1995	アイスハーバー	良好	小
7	61.6	1963	1.5	1993	アイスハーバー	良好	小
8	62.9	1945	1.4	1994	アイスハーバー	破損・漏水	大
9	63.9	1945	0.5	1998	船通し	良好	小
10	66.6	自然落差の下流					微小
11		自然落差の上流					-
12	57.5	(1961, 1959)2001	(3.9, 14.7)156	魚道無、支川			大

対象施設の下流でサンプリングを実施：St. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 対象施設上流でサンプリングを実施：St.12
 予測される遺伝的差異：魚道の現況や落差等から予測される遺伝的差異

の方法を検討した。

3. 調査方法

3.1 対象河川および魚類の採捕

本研究では、中国地方整備局の協力を得ながら、太田川の直轄管理区間内において、8基の堰堤 (St.2~9)と1カ所の自然落差 (St.10, 11)からなる区間 (St.2~11、約20km)、堰堤が無い区間 (St.1~2、約25km)、複数のダムの上流で魚類の移動が50年以上無いと考えられる1地点 (St.12)を調査対象とし、St.2~9の堰堤においてはその下流で、St.12においてはその上流でサンプリングを実施した (図-3)。それぞれの堰堤・魚道の諸元、および現地踏査を踏まえた評価の予測値を表-1に示す。

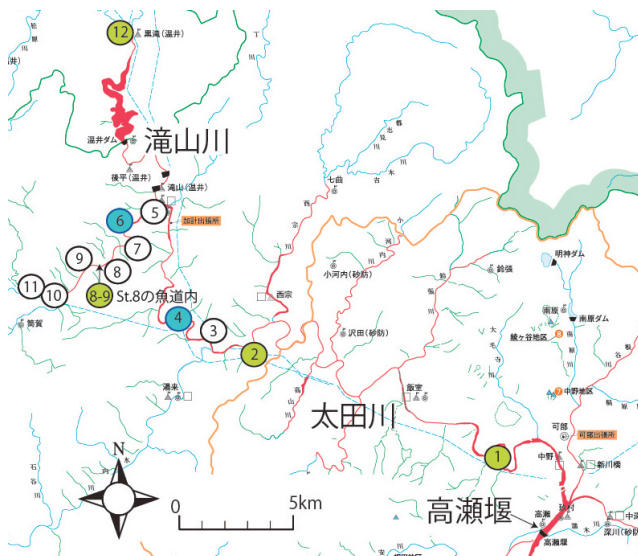


図-3 調査地点

地点凡例：地点の○内の色分けは、白：2012及び2013年に、青：2012年のみ、黄色：2013年のみ調査したことを示す。

調査対象種は河川水辺の国勢調査に基づく分布情報、放流履歴、事前踏査によるサンプルの集めやすさを比較した後、遊泳魚としてカワムツを、底生魚としてカワヨシノボリ・カマツカ・アカザを選定した。魚類の採捕は2012年および2013年の秋期に投網、潜水等によりそれぞれ1回行った。採捕した個体は体長を測定し、ヒレの一部を切除した後、捕獲地点に再放流した。

3.2 DNAの抽出および分析

採捕した魚のヒレの一部を切り取り、95%エタノールで固定し、実験室に持ち帰った。DNAの抽出を行った後、検出感度が高く、小さな遺伝的差異も検出可能なAFLP法*による分析・解析を行った。遺伝的差異が小さい集団を扱う場合には、わずかな分析誤差が結果に影響を与えることが知られており²⁾、同一水系内の魚種を扱う本研究では、誤差の影響を最小限に抑えるため、各年・魚種における一回の解析個体総数を装置の最大処理可能数である96以下とした (表-2)。そのため、

表-2 調査対象地点と解析個体総数

対象種	調査年	地点 (St.)	解析個体数
カワムツ	2012	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	91
	2013	1, 3, 9, 12	40
カワヨシノボリ	2012	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	70
	2013	1, 2, 3, 5, 7, 8, 8-9, 9, 11, 12	94
カマツカ	2012	3, 5, 7, 8, 9, 11	37
アカザ	2013	2, 3, 5, 7, 8, 12	46

*土木用語解説：AFLP法

1地点あたりのサンプル数は10サンプル程度となった。また、各地点のサンプルが同じ親から生まれた子集団に偏ると遺伝的差異が大きくなる恐れがあるため、分析サンプルは複数の世代が含まれ、かつ世代が偏らないよう、体長をもとに分析するサンプルを選定した。

4. 結果と考察

4.1 評価対象種の絞り込み

分析を行った4種について、調査範囲内での移動分散の状況を比較するために、基点からの距離と基点集団との遺伝的な距離を求めた(図-4)。ここに遺伝距離は、二つの集団間において、異なる遺伝情報が得られた頻度を示し、両者に遺伝的な差異がない場合には0値を、遺伝的な差異が大きい場合には高い値を示し、最大値は1となる。基点は、調査年・魚種毎に広い範囲でプロットできるような下流の地点を選定した。

カマツカは、地点間距離が遠い地点で遺伝距離が0に近い地点が複数あるのに対し、2地点で局所的に高い値を示した(図-4 a)。人為的な移入や少ない個体での繁殖など、移動環境とは異なる事象の影響が疑われるため、以降の検討から除外した。

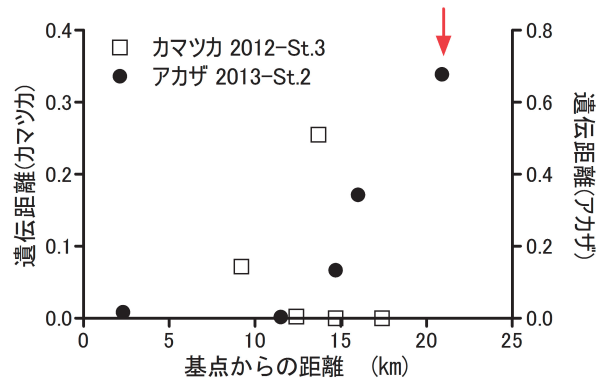
他の3種では、ばらつきはあるものの、地点間距離に応じて遺伝距離が増加する傾向を示すとともに、ダムの上流地点(図-4 赤矢印)の値は、他の地点よりも高い値を示した。そのうち、アカザは、遺伝距離の絶対値が他種よりも大きく、ダムの上流域も含めて連続的に変化する傾向を示した。本水系におけるアカザは、ダムが設置される以前から地点間に一定の遺伝距離が存在していたと考えられ、堰堤による影響を評価する対象種に適さないと考えられる。また、カワムツの遺伝距離は2年ともに、ダムの上流を除き0.1以下の低い値を示し、本調査範囲における移動環境が保たれていると考えられる。カワヨシノボリは、2012年は遺伝的距離が大きいのが、2013年にはダムの上流を除きカワムツよりも低い値を示した。カワヨシノボリにおいては、年変動があるものの、移動環境は比較的保たれていると考えられる。一方で、カワムツ・カワヨシノボリの両種とも、堰堤のない区間(図-4 黒矢印)と比べ、堰堤のある区間の遺伝距離は高いか同等の値を示しており、

堰堤区間において、遺伝的な差異が検出できると考えられる。

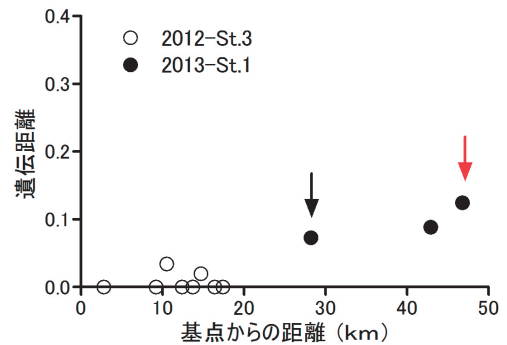
以上のことより、評価対象種としてカワムツとカワヨシノボリを選定した。また、3種の遺伝距離から、移動分散範囲はカワムツ>カワヨシノボリ>アカザと推定される。

4.2 隣接地点集団間での評価

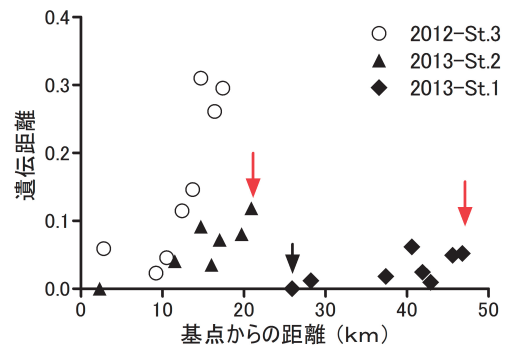
調査範囲内において、評価対象種は両種とも一定の交流ができており、他地点よりも顕著に大き



a) カマツカおよびアカザ



b) カワムツ



c) カワヨシノボリ

図-4 基点からの距離と各集団間の遺伝距離

凡例：魚種名(aのみ)-調査年-基点とした地点
黒矢印は無堰堤区間の上流地点(St.2)を、赤矢印はダムの上流地点(St.12)を示す

な遺伝距離を示す地点は抽出できなかった。そこで、近い地点間における小さな遺伝的な差異を比較するため、隣接地点間における遺伝距離を比較した(図-5)。2012年のカワムツでは、遺伝距離の値が他の地点と比べ相対的に大きな値を示す3地点間(St.4-5, 5-6, 8-9)が抽出された。このうち、St.4は低落差だが魚道が無く、St.5は魚道に通水が無く、St.8は魚道が破損しているなど、いずれも現地の移動環境に課題が確認された。

カワヨシノボリにおいても、相対的に大きい値

を示す地点間がみられ、特に2013年は明瞭に差異が見られる4地点間(St.3-5, 7-8, 8-9, 9-11)が抽出された。この結果は、2012年の傾向とも齟齬がなく、再現性が確認されるとともに、2カ年の結果から要観察地点としてSt.3, 4, 7, 8, 9が抽出された。カワヨシノボリでは魚道に通水の無いSt.5が抽出されなかったが、本堰堤に浅く水の流れる斜面があることから、これを利用できたものと推察される。

以上、隣接地点間の遺伝距離の相対的な比較から、これまで客観的な評価が困難であった魚類の移動環境の評価を、魚種別に一定の再現を保ちながら可能としたと考えられる。

5. まとめ

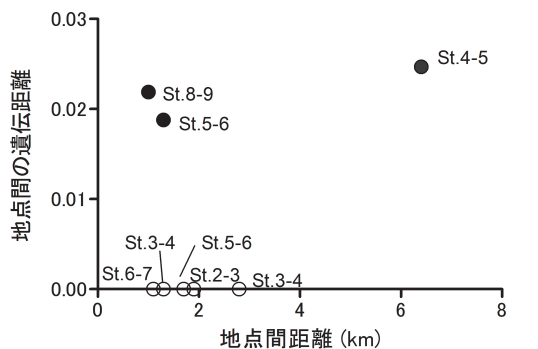
本研究により、限られたサンプル数・調査年の範囲においても、評価対象種の絞り込みおよび隣接地点間の遺伝距離の相対比による魚類の移動環境の客観的な評価が可能であった。遺伝子の分野では、日進月歩で新しい技術が研究・開発されるとともに、生物の遺伝情報データベースへの登録数も飛躍的に増え、様々な場面で、多様な生物種を対象とした研究が進められている。こうした新しい技術を活用し、河川事業における様々な課題解決につながるよう、引き続き研究を進めていく予定である。

謝 辞

本研究の実施に当たり、太田川河川事務所に多大なご協力を賜りました。ここに深謝いたします。

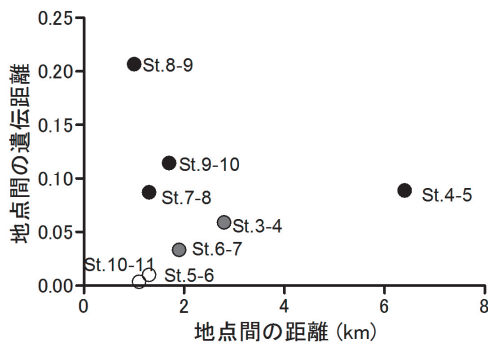
参考文献

- 1) 河川事業における遺伝情報の活用に関する共同研究報告書、共同研究報告書第478号、平成27年12月
- 2) 村岡敬子、篠塚由美、三輪準二、須藤勇二、川辺朋子、中村和正：AFLPを用いた魚類の移動環境評価の試み、DNA多型、Vol.20、pp.132~137、2012.6

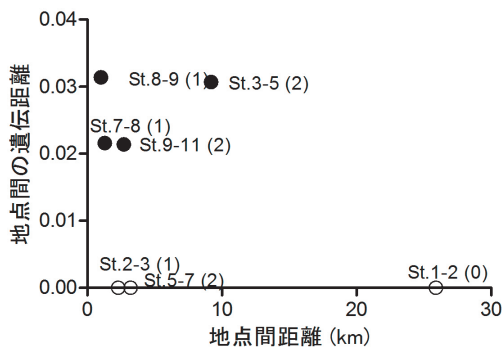


a) カワムツ 2012年

2012年 各地点間には1基の堰堤が存在。
2013年は地点数が少ないため省略



b) カワヨシノボリ 2012年
各地点間には1基の堰堤が存在



c) カワヨシノボリ 2013年
()内の数字は、各区内の堰堤の数を示す

図-5 隣接地点間の遺伝距離

●は相対的に他地点よりも高い地点を、●はそれに準じる地点を示す

村岡敬子



土木研究所水環境研究
グループ河川生態チーム
主任研究員
Keiko MURAOKA

萱場祐一



土木研究所水環境研究
グループ河川生態チーム
上席研究員、工博
Dr. Yuichi KAYABA