

戦-13. 在来魚種保全のための水系の環境整備手法の開発

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

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、村岡敬子

【要旨】

本研究は、在来魚集団維持のために必要な水系内の空間配置や連結性の考え方を示し、現在の水系の中で効果的に水域環境を保全・修復するための考え方や手法の提案を行うために実施しているものである。平成19年度は、指標魚種として陸封型の中卵性カジカを選定し、同一水系内に生息するカジカ集団の遺伝情報や水系内の物理情報を用い、集団が利用する水空間の生息環境や地域集団同士の交流状況の評価を試みた。その結果、孤立した水域に生息するカジカ集団であっても AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*, 増幅断片長多型) 解析手法を用いることにより多型を得、これを用いて繁殖環境や移動状況を推定することができた。また、今後の評価モデル構築の一環として、GISを用いた現地情報の統合化を図るとともに、孵化した稚魚が必要とする物理環境調査を実施し、カジカの稚魚が必要とするいくつかの指標を得た。

キーワード：在来魚種、地域集団、AFLP、遺伝的距離、カジカ

1. はじめに

河川に生息する魚類の中には、その生活史の中で河川だけでなく周辺の小水路やそこにつながる湿地・水田地域などを利用するものも多く、個々の移動能力に応じてこれらの水域が適切に連続することを必要とする。こうした魚類における個体の移動は水系内に広く分布する個体同士の交流にもつながり、水系内の在来魚の集団としての存続にも大きく関わっている。このような水系を面的に捉えた河川環境の整備は在来魚種を中心とした健全な生態系の保全のためにも必要であり、国土交通省で重点的に取り組みつつある課題のひとつでもある。

しかしながら、河川周辺の水域が人間活動によって物理的にも時間的にも大きく改変されている現状の下、事業による十分な効果を得るためには、現在の河川および周辺の水環境と魚類が必要とする水域を的確に把握し、魚類の移動能力と結びつけた評価を行うとともに、必要な水環境を保全・復元していくことが重要である。

本研究では、在来魚集団維持のために必要な水系内の空間配置や連結性の考え方を示し、現在の水系の中で効果的に水域環境を保全・修復するための考え方や手法の提案を行うために実施しているものである。

平成19年度は、陸封型の中卵性カジカを選定し、遺伝情報と物理情報を組み合わせ、同一水系内に生息

するカジカ集団の繁殖・成育環境の評価を試みるとともに、これらをモデル化していくための基礎情報を収集した。

2. 手法

2.1 指標魚種の概要

本研究で取り扱う指標魚種として、河川中流域や支流に生息し、分断や生息環境の悪化の影響を受けやすい魚種を基準とした。カジカ科は底生魚の仲間で、アユなどの浮遊性の遊泳形態をとる魚に比べて移動能力が乏しい。そのため、河道内の横断工作物による分断の影響を受けやすいとされ、例えばカジカ科のハナカジカは河川改修やダム建設の影響により激減したといわれる¹⁾。

日本固有種であるカジカ属カジカ科カジカ中卵型 (*Cottus* sp. ME、以下「カジカ」) は河川中下流を中心に生息し、孵化後の一定期間を海で生活する両側回遊性の生活環を有する。本種は、生活史の中での移動範囲が大きいとともに、河川上下流の分断の影響を強く受けることが予想される種のひとつである。

昨年度より指標魚種として調査対象としている九州地方のA川中流域のカジカ集団は、回遊性の中卵型でありながらも河川陸封個体群とされる。本研究では、A川のカジカの生息域が横断工作物により寸断されていることを利用し、それぞれの地点のカジカ集団を仮想

表-1 一次分析対象個体数

地点	採取年			
	2006		2007	
	成魚	当歳魚	成魚	当歳魚
St.1	9	11	26	12
St.2	10	17	58	38
St.3	24	0	33	15
St.4	15	4	44	10
St.5	40	55	69	82
St.6	24	29	32	30
St.7	9	6	39	10
St.8	9	0	11	
Out.1			54	0
Out.2			5	0
計	262		568	

上の“地域集団”として扱い、生息環境を現地調査と遺伝情報を組み合わせて評価するための調査を実施した。

2.2 生息地の物理環境情報

昨年度に引き続きA川本川および支川B全域を対象にカジカが生息域の分断状況や環境区分などの物理情報を把握するための調査を実施した。河道の分断規模については、昨年度の比較的水量が安定する冬季に河床勾配や横断工作物の有無、位置・落差および魚道の有無の情報を得ている。平成19年度は、A川におけるカジカが産卵準備に入る秋～冬季、孵化を控えた冬季の2回にわたり分断の状況を再確認するとともに、事務所と協力して利用可能と推測される水域の分布を瀬淵規模で把握するとともに、その規模や水深、河床材料の大きさや底泥の堆積状況を踏査により明らかにした。これらの情報は、GPS(Global Positioning System, 全地球測位システム)を用いて記録し、GIS(Geographical Information System, 地球情報システム)データに変換するとともに、国土地理院発行数値地図情報、過去から現在にいたる周辺流域の航空写真、農業用水の利用状況等および昨年度実施した横断工作物の情報と重ね合わせて整理した。

2.3 サンプルングおよび分析対象個体の分類

遺伝情報分析のサンプルとしてA川水系において2005～2007年の3カ年にわたり1682個体、アウトグループとして他の水系3箇所計91個体の中卵性カジカのヒレもしくは背びれの軟条を採取した。今回分析

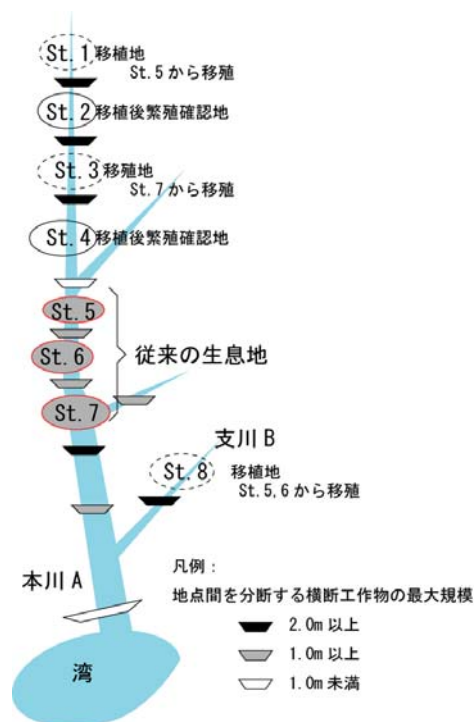


図-1 地点間の分断状況

を行ったアウトグループ2集団は、いずれもA川と同じ九州地方北部における陸封カジカの集団である。

本明川および長田川でサンプリングされた個体は図-1に示す8つのグループ＝「仮想の地域集団」に区分した。さらに採取年別にこれらの体長の出現頻度を求め、これを元に孵化年別の体長分布幅を推定し「当歳魚」(0+, 孵化後1年未満)とそれ以外のグループ(ここでは便宜上「成魚」と呼ぶ)に分けた。このとき、双方の境界に位置する体長のサンプルは分析対象から除外した。

2.4 AFLP分析

採取したサンプルは、土木研究所内においてフェノール抽出によりDNA(Deoxyribonucleic acid,デオキシリボ核酸)を取り出し、ABI社製AFLP Plant Mapping Kitを用いた前処理の後、ABI Prism 3100によるAFLP解析を行った。本解析では、2塩基に反応する制限酵素処理1回と3塩基のランダムプライマー2組により多型情報を得た。

これにより、表-1に示す全830個体を対象にAFLP分析およびABI社製Gene Mapperによる多型の検出を行った結果、2組のプライマーの合計で266allele(遺伝子情報上のターゲット)に多型が得られ、このうち自動解析で精度よく処理できる152alleleを抽出し、以降の分析対象alleleとした。

得られた多型は Universite' Libre de Bruxelles が開発した AFLP SURV(A Program for genetic diversity analysis with AFLP population data)を用いて分析し、Joseph Felsenstein(University of Washingtton)開発の PHYLIP を用いて図化した。

本研究で取り扱うような小さい集団では機会的浮動(世代毎に生じるランダムな変化)が生じ、また孤立した小集団であるため遺伝的分化を考慮しなければならないため、集団間の遺伝的距離を論じるためには複数年にわたる継続調査が必要となるが、ここでは今後の調査計画に資するために、一次分析対象とした2カ年サンプルとそれぞれの分断状況に関する情報を用いて概略の検討を行った。

2. 5 稚仔魚の利用環境に関する現地調査

カジカの孵化時期である2008年3月に、A川の特に出るカモの生息密度が高い地点および、移植後に稚仔魚の確認数が少ない地点において、カジカの稚仔魚分布調査を実施するとともに、それぞれの地点の物理環境情報を得た。

3. 解析結果及び考察

3. 1 河川内の物理環境

図-1に、カジカの分布情報と横断工作物の規模を示す。本川Aおよび支川Bの調査延長約10Kmの範囲で、自然の落差が4箇所、横断工作物は109箇所確認されている。このうち、従来の生息地(St.5~7)には23基の横断工作物が存在し、12基が1mの落差を有する。しかしながら、この区間の河道幅はSt.7の下流端を除いて狭く、夏場にはヨシが繁茂するため、出水時には

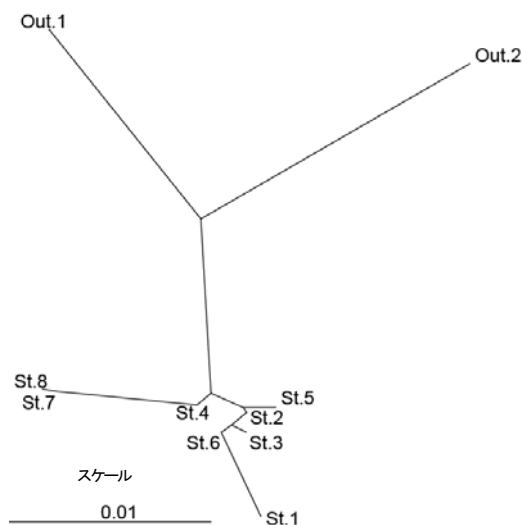


図-2 Neiの遺伝的距離による地点集団の関係
(3カ年の総合データによる)

塞き上げにより一時的に落差が解消される可能性もある。一方、現在の移植地および移植後カジカが確認されたSt.1~4は2mを超える堰堤によりそれぞれ分断されており、堰堤の構造(魚道の、水抜き穴の有無など)、上下流の護岸の状況から、出水時を含めても下流から上流への底生魚の移動は困難と考えられた。なお、St.1~7の区間は、周辺の複数の農業用水路ネットワークにより結ばれているが、A川との接続部の状況などから、これを利用して下流から上流へ移動できる可能性は小さいと推定される。

3. 2 集団の地点間比較

サンプルの分析結果を用いて求めた各地点の集団間のNeiの遺伝的距離から、近隣結合法により系統樹を求めた(図-2)。A川のカモ(St.1~8)は、アウトグループに対してひとつの集団を形成しており、St.2~6は極めて遺伝的距離の小さい集団であるのに対し、St.7,8およびSt.1は他の地点に比べ遠い位置にある。St.1はSt.5から最上流端に移植された♂7個体、♀13個体を起源とする孤立集団である。St.1の集団を起源とするSt.2とSt.5の遺伝的距離は小さいことから、移植時点では移植地St.1と移植元St.5の遺伝情報に大きな偏りは無かったことが推定される。これらのことから、St.1では移植後、孤立による遺伝的分化が進行しつつあり、新たな移植が行われない限り他地域との距離が隔たっていくことが推定される。同様St.5からの♂13個体、♀20個体およびSt.6から移植された♀7個体を起源としているSt.8も、St.1と同様なことが推定される。

3. 4 繁殖環境の推定

繁殖に参加できる個体と実際に残った稚仔魚の関係を推定するために、各集団の当歳魚と成魚の遺伝的距離を比較した(図-3)。遺伝的距離が高いことは、成魚と当歳魚の間に遺伝的な隔りがあることを示し、その原因として以下のような場合が想定される。

- ① 当歳魚孵化からサンプリングまでの間(約8ヶ月)に当歳魚もしくは成魚の集団に、他地点の集団からの侵入があった
- ② 成魚が産卵できる環境が限られており、当歳魚の親となった個体が、成魚の集団の一部に偏っている
- ③ 稚魚・成魚ともに他地点からの移入個体が多数を占める

他地点からは完全に孤立したSt.1では、①、③のよ

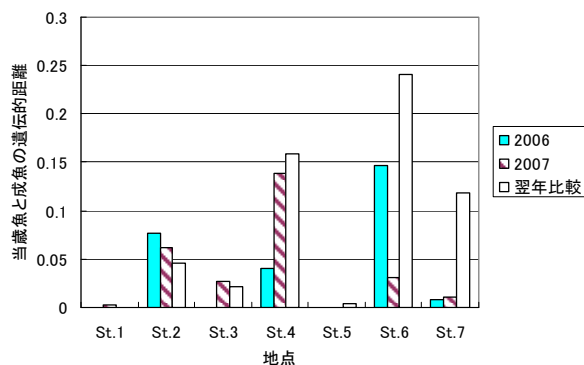


図-3 当歳魚と成魚間の遺伝的距離

各地点別当歳魚集団と成魚集団の間の Reynolds らの遺伝的距離を示す。凡例の数字はサンプル採取年を、「翌年比較」は「2006年の成魚集団と2007年の稚魚集団を比較したことを示す。

うな状況は考えられず、かつ当歳魚と成魚の遺伝的距離が極めて近かった。このような状況は、集団内の遺伝情報が均質化してしまった集団でも起こり得るが、遺伝的な豊かさを示すヘテロ接合度 H_e は、St. 1～8を通じてほぼ一定であることが2005年に引き続き2006, 2007年のサンプルにおいても確認されており、集団の均質化は否定できる。これらのことから、St. 1ではカジカが生活史を送る必要な環境のうち産卵場が、集団の規模に対して十分存在し、多くの成魚が産卵に参加し、稚魚を残していることが推定される。

2007年の当歳魚の F_{st} (無作為に選んだ2集団からそれぞれランダムに取り出した2遺伝子が同じ起源をもつ確率) を、図-4に示す。St. 2から下流のSt. 4に向かうにつれ、 F_{st} は大きくなる傾向を示す。特にSt. 4はSt. 2以外の地点に対し、いずれも大きな値を示している。図-3, 4の結果および移殖前にはカジカの生息が確認できていなかったことから、St. 4は、移植後その上流側で繁殖するカジカの受け皿としても機能し、個体の移入が盛んであることが推定される。これらの地点の最下流にありながらも、St. 7では移殖先のSt. 3および前述のSt. 4を除き、いずれの F_{st} も低水準に留まっている。図-2においても同様の結果を示しており、これがサンプルの偏りによるものなのか、物理環境上の問題であるか引き続き調査していく必要がある。

3. 5 稚魚が利用する物理環境

カジカの孵化時期である3月の下旬にSt. 5～7で稚魚の分布調査を実施し、孵化直後の仔魚や15mm前後に成長した稚魚(写真-1)が、全域で確認された。これら稚魚の確認箇所の河床はいずれも5～30mm程度の小礫、流速20cm/s前後の環境であった。これらの空間規模は、

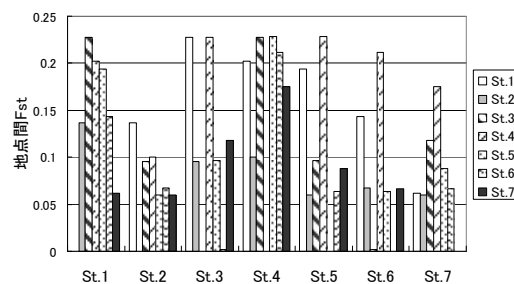


図-4 各地点の当歳魚の F_{st} (2007 採取サンプル)



写真-1 確認された稚魚および確認地点の河床材

極めて小さく、これまでの瀬淵単位の物理環境情報よりもスケールの小さい情報をモデルに組み込んでいく必要がある。

4. まとめ

本来であれば、世代交代時に変動する遺伝構造を用いた環境評価のためには、数年間にわたる継続的なサンプリング・分析が必要である。一方で、昨年度から2年間にわたり実施してきたA川カジカ集団の遺伝情報および魚類の生活史と物理環境など相互に関係している情報を結び付けた整理により、環境の質を推定することが可能となることが示された。

今後も引き続き手法の最適化やモデルの構築を図り、A川のカジカ保全のために必要な空間構造や移植地の選定や造成に必要な情報を抽出していく予定である。さらに、本調査を通じて開発された手法を発展させ、他の在来魚種集団にの保全に資することができるよう、他の魚種や分析手法などについても引き続き検討していく予定である。

参考文献

- 1) 環境省：レッドデータブック汽水淡水魚編、平成15年5月
- 2) 原田光、畦池崇敬、南西諸島におけるメヒルギ島嶼集団の遺伝的変異、 AFLP 解析、 マングローブに関する調査研究報告書、pp249-260 平成14年3月

A STUDY OF ENVIRONMENTAL PLANNING METHOD FOR CONSERVATION OF NATIVE FISH SPECIES

Abstract : In order to conserve environmental conditions for native fish, it is important to assess their habitats on larger spatial scale. The landlocked sculpin populations insulated in upstream area, were selected for this study. To examine the extent of genetic variation within and among populations, the AFLP analysis was applied to 8 hypothetical populations(3 native and 5 introduced populations). Enough fragments were detected, and the proportion of the polymorphic loci gave some indexes. These can be used to estimate the breeding habitats conditions and its continuity.

Key words : native fish, fish population, AFLP, average nucleotide diversity, weir