

底生動物と付着藻類の生息分布からみた 感潮域の魚道評価

EVALUATION OF FISHWAYS OF THE NAGARA ESTUARY BARRAGE BASED ON HABITAT FOR BENTHIC ANIMAL COMMUNITIES AND ALGAE

和田 清¹・小出水 規行²・嶋田 啓一³・後藤 浩一⁴

Kiyoshi WADA, Noriyuki KOIZUMI, Keichi SHIMADA and Koichi GOTO

¹正会員 工博(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 教授(〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑2236-2)

²正会員 農博(独)農業工学研究所 生態工学研究室 主任研究官(〒305-8609 つくば市観音台2-1-6)

³正会員 (独)水資源機構 中部支社管理部施設課 参事役(〒460-0001 名古屋市中区三の丸1-2-1)

⁴正会員 (独)水資源機構 長良川河口堰管理所環境課 係長(〒511-1146 桑名市長島町十日外面136)

The effects of saltwater intrusion characteristics on benthic animal communities and algae were investigated in the fishways of the Nagara estuary barrage under uniform substrate. As a result of the cluster analysis of the benthic animal communities, the fishway zone was divided into three parts; the freshwater, the saltwater and the transitional section. The benthic animal communities and algae inhabited mainly in these section related to saltwater intrusion characteristics. The megalopa larvae of the Japanese mitten crab (*Eriocheir japonica*) settled and metamorphosed to crab stage in the upper tidal zone in the fishway. Settlement of megalopa larvae occurred mainly in early summer (June) and early winter (December). The majority of larvae that settled in winter did not survive and metamorphose to the crab stage due to low water temperatures. Thus, the growth and upstream migration of the Japanese mitten crab seemed to be strongly influenced by water temperature in the estuary. The suitable settlement position of megalopa larvae corresponded to the tip of salt water intrusion at neap tide. In this study, it is clarified that the Saseragi-fishway have a fulfill function to mitigate for decreased estuary zone that change aquatic insect and organism phase from freshwater to seawater.

Key Words : estuary, salt water intrusion, fishway, habitat, benthic animal, algae

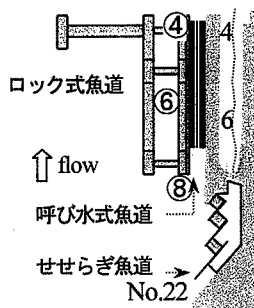
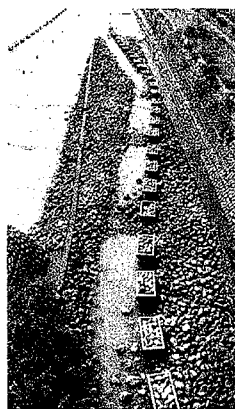
1. はじめに

欧米の多自然型魚道には、近自然迂回路のように、回遊魚類を阻害する堰などの構造物を、近自然河川工法の水路形態によって分水させ、大きく迂回させた形式が多く見られる¹⁾。これらは、自然に近い形態を創出する点と景観に調和させる可能性を提供しており、この水路がもつ機能は単に魚類等の回遊路としてのみならず、魚道のある生物種の生息空間 (habitat) としても利用され得ることが前提条件となっている。

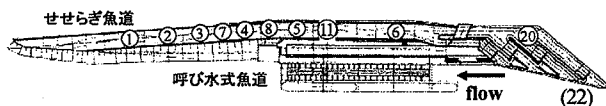
長良川河口堰の運用は1995年に開始され、その魚道群の遡上に重点を置いた機能評価については、モニタリングデータを利用した魚類や甲殻類の統計解析などによって実施されている^{2), 3)}。また、この長良川河口堰の下流側は、建設前の淡水と海水が混合する汽水域から、上層と下層の塩分濃度が大きく異なる密度成層化

へと建設後に変化し、潮汐流が著しく弱化したことが指摘されている⁴⁾。河口堰の右岸に設置された「せせらぎ魚道」は、図-1のように、塩水遡上を許容して、河口堰によって生じたこの不連続性を緩和する役割を担っている。しかしながら、従来、この環境修復を意図した長良川河口堰の魚道群を、生息場 (habitat) としての基本的な機能については調査データが蓄積されておらず、生産者である付着藻類や底生生物の生息分布の季節変動などは明らかにされていない。さらに、生活史の中で一定期間、汽水域で生息するようなモクズガニなどの回遊性甲殻類にとって、汽水域の大幅な縮小は、①幼生の着底場所の制限、②稚ガニの生息場所の制限、③堰や湛水域による稚ガニの遡上や親ガニの降下障害などに影響を及ぼすことなどが考えられ、生態系ネットワークとその支援施設としての魚道の機能を、時間スケールとともに把握する必要がある。

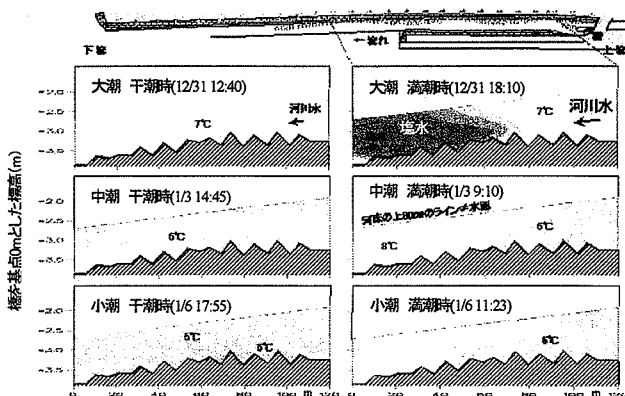
本研究は、呼び水式魚道と塩水が遡上する「せせらぎ



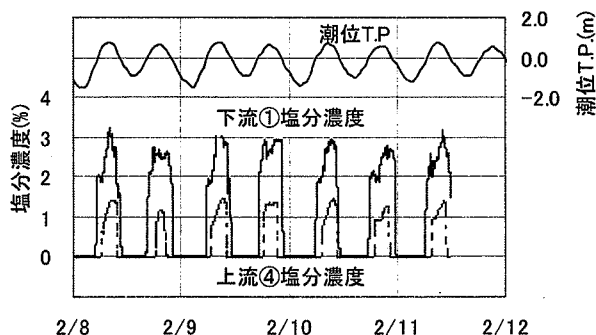
(a) 魚道入口部の状況(干潮時) (b) 右岸側魚道群(出口部)
図一 長良川河口堰せせらぎ魚道



図二 せせらぎ魚道の概略図と調査地点



図三 せせらぎ魚道入口部の水温の鉛直分布



図四 せせらぎ魚道の塩分濃度の時系列(地点No.1,4)

魚道」において、付着藻類、貝類・甲殻類などの底生動物の生息分布の差異を把握し、塩水遡上が生物の生息量にどのように影響しているかを明らかにして、感潮域の魚道を生息場(habitat)の観点から評価しようとするものである。具体的には、まず、せせらぎ魚道において、水質・水位・水温計測を行い潮汐や塩水遡上の影響範囲を把握する。次いで、付着藻類、貝類などの定期的なサンプリング調査データを用いて、塩水遡上に依存する生物種の構成がどのように変化するかを考察する。さらに、回遊性甲殻類モクズガニの生活史の初期段階(メガロパ幼生～稚ガニ)に着目して、メガロパ幼生の着底・変態状況と塩水楔の進入状況の関連、稚ガニの甲幅サイズと生息場の特性を明らかにする。

2. せせらぎ魚道における塩水遡上の動態

(1) 調査方法

長良川河口堰右岸のせせらぎ魚道(延長320m、幅15m、上流部勾配1/347、下流部1/110)は、上流端にはラバーゲートが4基、河床は玉石(粒径20～40cm)が配置され、魚道内には幅約3mの蛇行した滞筋と瀬・淵が形成されている。その滞筋に沿って右岸側に鳥害防止用ブロックが約3m間隔で設置されている。

潮位、塩水、水温の遡上状況を把握するために、水質モニタリングシステム(HORIBA製)をせせらぎ魚道内(図-2中のNo.1,4)の河床2ヶ所、圧力式水位計(ウイジン製)を図中No.1,4,6の3ヶ所、温度データロガー(onset社製:55個)を鉛直方向に20cm間隔で5～6個を1組とした棒を魚道内10ヶ所に設置して、2003年12月25日～翌年2月15日の期間、自動観測を行った。

(2) 調査結果および考察

図-3は、せせらぎ魚道入口部の大潮、中潮、小潮における干潮および満潮時の水温鉛直分布を示したものである⁹⁾。同図をみると、干潮時はどの潮汐においても、

水温分布の温度差は1℃程度にとどまり、魚道内に塩水は遡上していない。一方、満潮時は、大潮と中潮において魚道下流側に10℃と8℃程度の暖かい塩水塊がそれぞれ存在していることが確認できるものの、小潮時においては、下流端付近でやや水温が上昇している程度である。これは、河川水より高温の塩水が魚道内に遡上していることを表し、その塩水楔の遡上距離は潮汐によって異なることを意味している。

せせらぎ魚道の入口部における塩分濃度の時系列を、大潮から中潮時について示したものが図-4である⁹⁾。同図から、下流側の地点No.1は、上げ潮時に高塩分(約3%)の海水が遡上していること、地点No.4では、せせらぎ魚道を流れる淡水と遡上する塩水が混合・希釈され、約半分の塩分濃度に低下していることなどがうかがえる。また、図中から、地点No.1およびNo.4の塩水遡上に反応する時間差と地点間距離(河床勾配:1/110)から、塩水遡上の平均速度を算出すると0.83～1.52cm/sである。これらより、潮汐変動が大きな大潮時でさえ、塩分遡上速度は1cm/s程度であり、塩水楔として遡上する密度流(弱混合形態)の傾向が強いと考えられる。なお、中潮から小潮時の観測結果によれば、

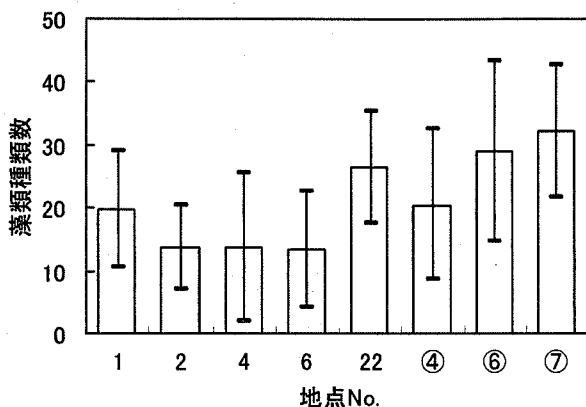


図-5 付着藻類の種類数

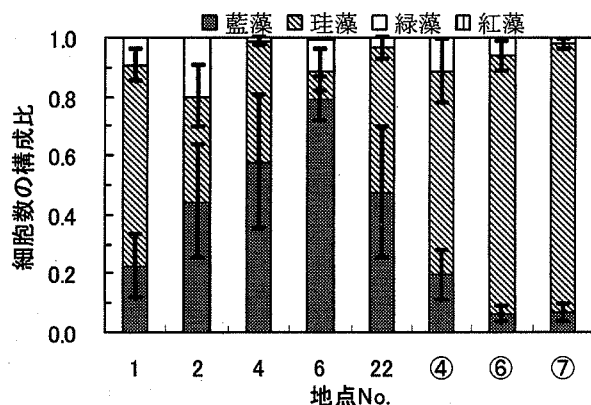


図-6 細胞数の構成比

地点No.4は小潮の満潮時における塩水遡上端にほぼ位置することが確認されている。したがって、せせらぎ魚道は、塩水が、A：ほぼ毎日遡上する、B：潮汐によっては遡上する、C：遡上しないという3つの区間に大別できる。

3. 付着藻類および底生動物の生息分布

(1) 付着藻類および底生動物の調査方法⁷⁾

せせらぎ魚道の玉石礫に付着した藻類の調査を、2004年6月30日、8月4日、11月11日、2005年1月28日の計4回実施した。調査地点は、流心付近の8地点（せせらぎ魚道：No.1,2,4,6,22の計5カ所、呼び水式魚道：No.④,⑥,⑦の計3カ所）であり、玉石礫にセル（5×5cm）をあてて同一地点4カ所から藻類を採取した。調査は、原則として大潮の干潮時に実施した。採取した標本は、生物顕微鏡観察により、種の同定、細胞数、沈殿量の生物分析、アセトン抽出・吸光法によりクロロフィルa,b,c濃度およびフェオフィチンの化学分析を行った。

底生動物調査は、上述の8月、翌年1月の2回実施し、付着藻類と同じ8地点に加えて、調査地点No.2,4,6の岸側を加えた合計11地点において実施した。セル内（50×50cm）で採取した底生動物は種を同定し、100個体まで

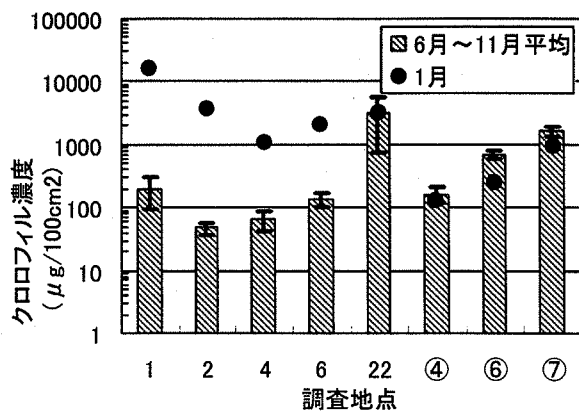


図-7 クロロフィル濃度の季節変動

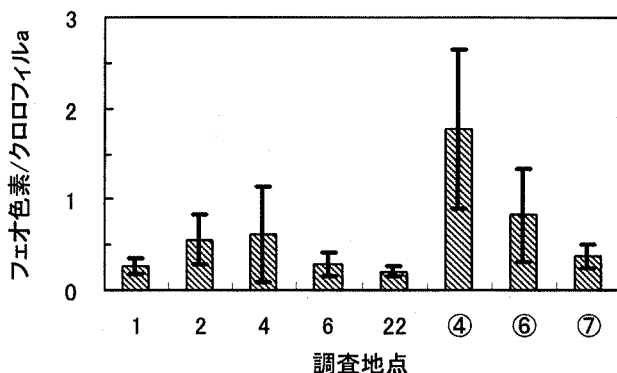


図-8 フェオ色素濃度とクロロフィルa濃度の比

は個体数を計数し、それ以上は（＞100）とした。

(2) 生態区分別の付着藻類

生態区分別の付着藻類の種類数について、4回分の調査結果の平均値と標準偏差を示したものが図-5である。せせらぎ魚道における付着藻類の種類数は4～33種の範囲であり、全期間を通じて魚道出口の淡水域No.22で最も多い。呼び水式魚道では、9～44種の範囲であり、6,8,11月は魚道出口No.⑦、1月は入口No.④が最も多い。

出現種類数では、せせらぎ魚道のNo.1,2において6,8月に海水～汽水性種、汽水～淡水性種の合計割合が25%程度であり、No.4,6,22の上流側ではその割合は減少する。11月になるとこの割合がNo.4において約20%に増加し、1月では海水～汽水性種、汽水～淡水性種が全調査地点で出現する。このように、季節的な環境要因によって海水～汽水性種、汽水～淡水性種が上流側に分布域を拡大する様子がうかがえる。呼び水式魚道では、変動が見られるものの、最下流のNo.④において海水～汽水性種、汽水～淡水性種の割合が高くなる。隔壁の潜孔などによって僅かな塩水が進入する影響が現れたものと考えられる。

付着藻類の細胞数（mm²当たり）の構成比を、藍藻、珪藻、緑藻、紅藻に大別して示したものが図-6である。同図から、海水～汽水性種、汽水～淡水性種の割合が上流に向かうにつれて減少し、淡水性種の占める割合が高くなる。せせらぎ魚道の細胞数は、6月を除くと上

流側No.22で多く、No.6では6,1月に珪藻が、8,11月は藍藻の細胞数が多い。呼び水式魚道では年間を通じて珪藻の細胞数が多い傾向にある。

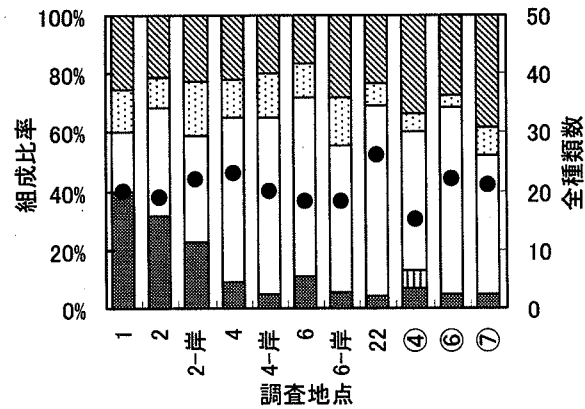
(3) 付着藻類のクロロフィル濃度とフェオ色素濃度

図-7は、クロロフィル濃度（対数表示）の季節変化を示したものである。クロロフィル濃度はa,b,cの合計とした。なお、1月調査のNo.1で卓越した*Enteromorpha prolifera*（スジアオノリ）については、計数の困難さから細胞数の集計からは除外したが、クロロフィル濃度では含めて算出した。同図から、せせらぎ魚道におけるクロロフィル濃度は、1月を除くと調査地点No.22で高い値を示しており、淡水域における種類数の多さに対応している。全体的には、調査地点No.2,4で濃度が下がる傾向にある。この地点は、勾配が変化する変曲点（1/347→1/110）と対応しており、急流によって付着藻類が剥離するなどの影響が考えられる。一方、呼び水式魚道におけるクロロフィル濃度はすべての月において調査地点No.④で低く、No.⑦で高い値を示している。呼び水式魚道の入口部の隔壁は、塩水が遡上しないように潮位変動に追従して自動制御されている。下流側に位置するNo.④はNo.⑦に比べて平均水深も大きく、日射量の差異がクロロフィル濃度の増減に関連しているものと推測される。

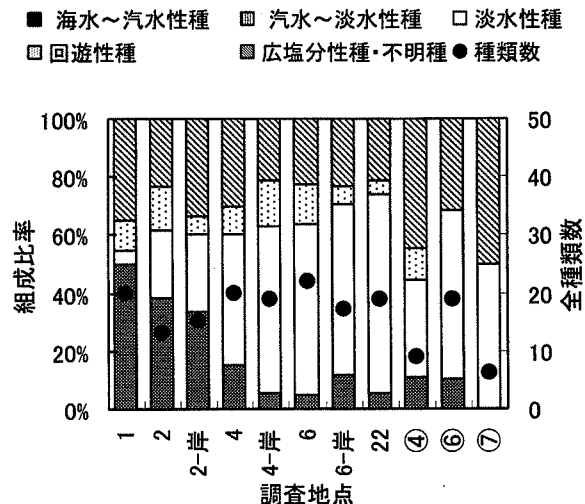
クロロフィルa濃度に対するフェオ色素濃度の値を示したものが図-8である。同図から、調査月によってばらつきが見られるものの、せせらぎ魚道では地点No.1,6,22、呼び水式魚道では地点No.⑦において、フェオ色素の割合が低くなっている。クロロフィルa濃度とフェオ色素濃度の関係は、付着藻類群集が極相に近づいた場合にフェオ色素の割合が高く、この値が低いということは、付着面が波浪や急流によって洗われ、付着藻類群集が更新されやすいことを示唆している。一方、呼び水式魚道の地点No.④では逆に大きな値をしており、季節変動はあるものの安定した付着藻類群集が形成されているものと考えられる。

(4) 底生動物の生態区分とクラスター分析

図-9は、底生動物の全種類数と生態区分別の組成比率を示したものである。同図から、せせらぎ魚道の種類数は8月ではNo.22、1月ではNo.6で多いこと、組成比率では、8,1月ともに上流に向かい淡水性種の割合が高くなり、海水～汽水性種の比率が減少すること、呼び水式魚道では8,1月ともに魚道中央部No.⑥で多いことなどがうかがえる。8月の出現状況は、海水～汽水性種および回遊性種が100個体以上出現したのはNo.1のみであり、ヨーロッパフジツボ、キスイタナイス、ドロソコエビ属、テナガエビ科が多い。テナガエビ科は幼生から底生生活に移行して間もない程度の稚エビである。それ以外の調査地点で100個体以上出現した種はすべて



(a) 2004年8月



(b) 2005年1月

図-9 底生動物の全種類数と生態区分別の組成比率

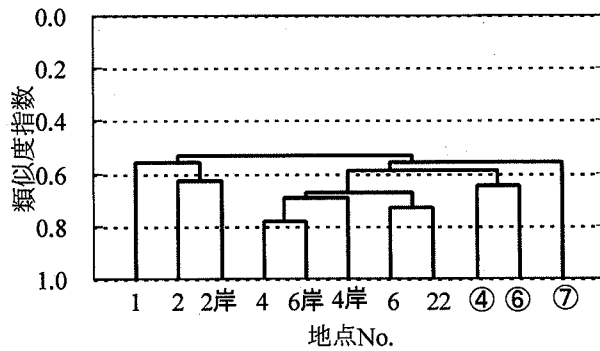


図-10 底生動物の類似度指数のクラスター分析（8月）

淡水種である。1月では海水～汽水性および回遊性種では100個体以上出現した種はみられなかった。淡水性種ではシジミ属（マシジミ近似種）、回遊性種ではモクズガニがせせらぎ魚道の全調査地点で出現している。

8月と1月の出現状況を比較すると、8月にはチリメンカワニナが調査地点No.4岸～No.22、テナガエビ科がNo.1で100個体以上出現したが、1月には両種とも同地点では100個体未満となっている。チリメンカワニナ、テナガエビ科はともに、春から初夏に産まれた稚貝、

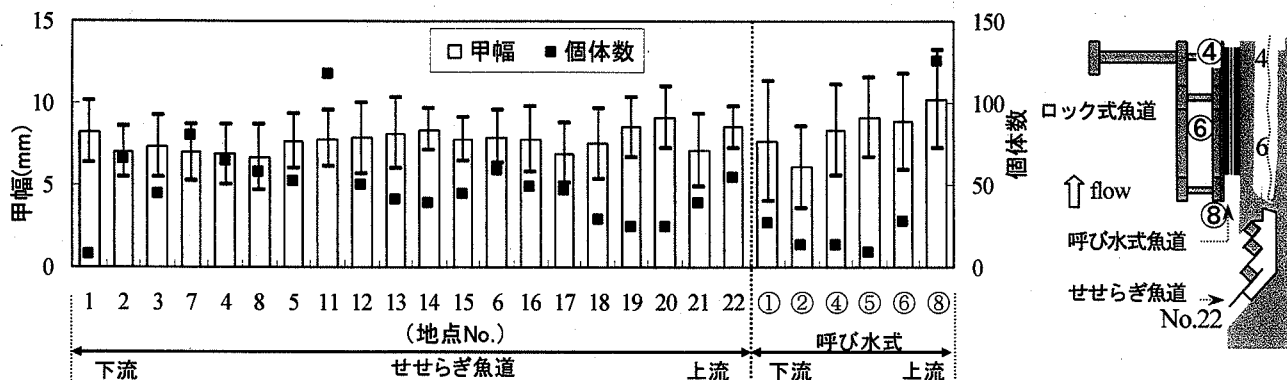


図-11 モクズガニの個体数と甲幅サイズに関する空間分布

稚エビが8月に多く採捕され、1月には食物連鎖による初期減耗や採捕されにくい泥中や玉石礫の下で越冬することなどが考えられる。また、採捕されたユスリカ科（エリユスリカ亜科、ユスリカ亜科）は、春から秋にかけて繁殖期である種類が多く、繁殖期に複数回世代交代する種類も多い。これらのことから、8月以前に多くの種類が羽化・産卵し、8月にそれらの幼虫が多く採捕されたものと考えられる。また、1月に多くの地点で100個体以上出現したエリユスリカ属については、冬から春に繁殖期を迎える種類の可能性が高く、1月以前に羽化・産卵した幼虫が採捕された可能性がある。

図-10は底生動物の類似度指数からクラスター分析（平均連結法）を用いてデンドログラムの一例（8月）を示したものである。海側の調査地点No.1,2とそれ以外に大きく大別され、ヨーロッパフジツボ、キスイタナイス、ドロソコエビ属などの海水～汽水性種の存在が大きく影響している。また、せせらぎ魚道の上流域（No.4,6,22）と呼び水魚道（No.4,6,7）の類似度が低く、両魚道の底生物種の組成が異なっていることを示唆している。これらの傾向は1月でも同様である。

4. 回遊性甲殻類モクズガニの生息分布

(1) モクズガニの調査方法

せせらぎ魚道に浮遊・着底するモクズガニのメガロバ幼生や魚道内に生息する稚ガニを採捕するために、鳥害防止ブロックの間にレンガと人工芝マット（全4種類）で加工した稚ガニトラップ（20cm×10cm×5cm）を2002年1月10日から設置し、約2週間～1ヶ月ごとに稚ガニトラップの回収を行い、個体数、甲幅などを計測している⁹⁾。モクズガニは、河川の中下流域で成長し海域へ降下し繁殖する降海回遊型の底生動物である。海域で浮遊生活し、流れに受動的なメガロバ幼生が、塩水遡上によって輸送され河床に着底し、一齢稚ガニへと変態できるかどうか、その後の甲幅サイズにまで成長する期間の生存率などはモクズガニの生活史の初期

減耗に直結する重要な過程である。以下では、2004年度の調査データから、せせらぎ魚道の生息場所とモクズガニの生息分布の関係を考察する。

(2) 稚ガニの甲幅サイズと空間分布

図-11は2004年3～12月の期間に採捕されたモクズガニの稚ガニの全個体数と甲幅サイズを魚道ごとに表わしたものである。同図から、個体数についてはせせらぎ魚道の中流部No.11、呼び水式魚道の出口No.8において、100個体を超える一方、塩水遡上域のせせらぎ魚道入口No.1ではきわめて少ないことなどがうかがえる。また、せせらぎ魚道内において稚ガニの生息密度が高くなるなどの空間的変動が見られる。個体数の少ないほど平均的な甲幅サイズは大きくなる傾向があり、この個体数が少ない場所は瀬とほぼ対応している。稚ガニに関する水深や流速などの水理特性の選好性や餌料生物環境と関わっているものと考えられる。

一般に、メガロバ幼生は脱皮して甲幅2mm程度の一齢稚ガニに成長する。稚ガニは感潮域の最上部付近でしばらく留まり、多くはそこで甲幅7mm程度まで脱皮を続け、甲幅4～7mm（最小3.7mm）ほどの稚ガニは淡水域に侵入して上流へ遡上を開始する。遡上しながら稚ガニは脱皮成長を続け、甲幅20mm前後になるとかなり上流部まで遡上するといわれている²⁾。しかしながら、同図の甲幅サイズを見ると、平均7～10mm程度となっている。また、呼び水式魚道の出口No.8には甲幅20mmを超える稚ガニが数個体確認されている。このことは上流域へ向かって遡上する個体群と魚道周辺や湛水域に一定期間生息する個体群に大別され、回遊性甲殻類のモクズガニの稚ガニは、この魚道周辺を生息場として利用している可能性を示唆しているものと考えられる。

(3) 生息場所の差異による個体数の有意差検定

地点ごとに採捕されたモクズガニを甲幅2mm未満（メガロバ幼生）、2～3mm（一齢稚ガニ）、3～5mm（稚ガニ小サイズ）、5～7mm（中）、7mm以上（大）

表一1 χ^2 検定による各地点の甲幅サイズの構成比

地点No.	甲幅構成比
1(下流)	甲幅5mm以上 (中・大サイズ) に偏り
2	甲幅7mm以上 (大サイズ) に偏り
3	甲幅2~3mm (一齢稚ガニ) に偏り
4	2mm未満 (メガロパ幼生) に偏り
5	甲幅2~3mm (一齢稚ガニ) に偏り
6(上流)	甲幅2~3mm、5~7mm (一齢・中) に偏り

に分類し、割合（構成比）を比較した。適合度の検定には、 χ^2 検定を用いた。母集団：採捕された全個体数、標本：各地点の個体数、帰無仮説：母集団が各標本の確率分布にしたがう（全個体数と各地点における個体数の甲幅の構成比が一致する）とした。

χ^2 検定（適合度の検定）の結果、全ての地点において帰無仮説は棄却された。つまり、各地点における個体数の甲幅の構成比と全個体数の甲幅の構成比は一致しないということである。主要な地点における母集団構成比と各標本構成比を比較した結果を表一1にまとめた。地点No.3,4,5ではメガロパ幼生と一齢稚ガニが、地点No.1,2では比較的大きいサイズの稚ガニが多く採捕されたことがわかる。メガロパ幼生はNo.4で多く、No.1,6ではきわめて少ないこと、一齢稚ガニはメガロパ幼生の着底が多い地点No.3,4,5周辺で多いことなどから、小潮～中潮時の塩水楔の進入点（No.4付近）に輸送されたメガロパ幼生は、せせらぎ魚道の河床に着底し、一齢稚ガニに変態した後、その周辺に分散する様子が示された。

5. おわりに

今回の調査結果から、せせらぎ魚道における塩水遡上の領域は、付着藻類、底生動物（貝類など）の生息分布と密接に関連し、汽水域特有の生息場が形成されていることが確認された。また、回遊性甲殻類であるモクズガニの稚ガニの生息分布から、淡水域に侵入し上流へ遡上を開始するといわれている甲幅サイズ

（約7mm）以上でも魚道内に生息していることが確認され、この魚道周辺を生息場として利用していることが示された。このように、総延長数十kmに及んでいた汽水環境が、せせらぎ魚道内に圧縮されている実態と、魚道群が付着藻類や底生動物（モクズガニ、チリメンカワニナ、テナガエビ科、ユスリカ科など）の生息場（habitat）の機能を分担している一端が示された。今後、魚道内の水理学的な検討を行うとともに、汽水環境の特徴を活かした河口域生態系保全策を検討する予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、魚道調査にご配慮を頂いた（独）水資源機構長良川河口堰管理所環境課に深く感謝の意を表す。なお、本研究は、科学研究費補助金（基盤研究(C)(2):課題番号15560450）の研究助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 中村俊六監修：魚の遡上設備とその設計・施工・機能監視—多自然型魚道マニュアル, 山海堂,126p., 1998.
- 2) 竹門康弘：長良川河口堰におけるモクズガニの遡上分析に基づく魚道の評価, 応用生態工学3(2),pp.153~168,2000.
- 3) 新村安雄：長良川河口堰の呼び水魚道とせせらぎ魚道, 応用生態工学3(2), pp.169~178, 2000.
- 4) 有田正光・鯉渕幸生：長良川河口堰が堰下流域の塩水侵入に与えた影響, 長良川河口堰が汽水域生息場の特性に与えた影響に関する研究, 科研成果報告書 (代表：玉井信行, 課題番号 13305035, (A)(1)), pp.17~40, 2003.
- 5) 小出水規行：長良川河口堰魚道の遡上魚類に関するモニタリングデータの統計解析とせせらぎ魚道における塩水遡上の現地調査, (代表:玉井信行,課題番号 13305035, (A)(1)), pp.113~129, 2003.
- 6) 和田 清・小出水規行・今村和志：長良川河口堰「せせらぎ魚道」における密度流の特性とモクズガニの着底・生息分布,土木学会水工学論文集,第48巻,pp.1585-1590,2004.
- 7) (独)水資源機構長良川河口堰管理所・国土環境(株)：平成16年度右岸魚道生物調査報告書, 37p., 2005.3.

(2005. 4. 7 受付)