

長良川河口堰「せせらぎ魚道」における モクズガニの着底・生息分布に関する現地調査

SETTLEMENT AND UPSTREAM MIGRATION FOR JAPANESE MITTEN CRAB AND FUNCTION OF SESERAGI-FISHWAY IN NAGARA ESTUARY BARRAGE

和田 清¹・小出水規行²・今村和志³・志村俊輔⁴
Kiyoshi WADA, Noriyuki KOIZUMI, Kazuyuki IMAMURA and Shunsuke SHIMURA

¹正会員 工博 岐阜工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣郡真正町上真桑)

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

³学生会員 岐阜工業高等専門学校 専攻科 建設工学専攻

⁴学生会員 長岡技術科学大学 工学部 環境システム工学課程 (〒940-2188 長岡市上富岡町1603-1)

Settlement and upstream migration in the Japanese mitten crab (*Eriocheir japonica*) was investigated in the Seseragi-fishway in the Nagara estuary barrage. Megalopa larvae settled and metamorphosed to crab stage in the upper tidal zone in the Seseragi-fishway. The youngest crabs were nearly two millimeters in carapace width. After attaining a minimum of four millimeters, the crabs began to migrate upstream and reach the freshwater area. Settlement of megalopa larvae occurred mainly in early summer (June) and early winter (December). Their upstream migration to the freshwater area began in July and August. 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. This mode of settlement with two peaks in summer and early winter reflected the temporal pattern of reproduction observed in the sea. In this study, it is clarified that the Seseragi-fishway have a function of settlement and upstream migration for supplement of decreased estuary zone. With respect to engineering works in estuaries such as the Seseragi-fishway, it is recommended that we take into account the processes of settlement and migration of young crabs.

Key Words : Japanese mitten crab, megalopa larva, settlement, upstream migration, fishway, estuary

1. はじめに

1995年に長良川河口堰の運用が開始されてから、長良川の河川環境の保全を図りつつ、河口堰がその本来の目的を達成できるように、運用後の環境の変化を把握し、環境保全対策の効果を確認するためのモニタリング調査が行なわれてきた。長良川河口堰の各々の魚道には、目的に合わせた工夫があり、それらが十分機能するとの期待が河口堰の建設と運用開始の背景となった。したがって、魚道の機能評価は、河口堰などの運用方針のみならず、今後の魚道のあり方や河口域生態系保全のためのミティゲーション手段を考える上できわめて重要である。

現在、せせらぎ魚道を含めた異なったタイプの魚道の機能評価については、モニタリングデータを利用した遡上魚類や甲殻類に関する解析などが行われている¹⁾²⁾。その結果、河口堰を多数の回遊性水生動物が通過している

事実が報告された。降河回遊性のモクズガニについては、成体、未成体ごとに分類して採捕数を比較した結果、せせらぎ魚道で未成体が多く採捕されたこと、成体は呼び水式魚道で多いことなど、甲殻類や魚類の種類・個体数について、各種魚道の特性が明らかにされつつある。

一方、河口堰による汽水域の大幅な縮小は、モクズガニなどの甲殻類にとって、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の影響を及ぼすことが考えられる¹⁾。これらの環境変化によって、具体的にどのような変化が生じているのか、また、甲殻類はそうした変化を通じて魚道をどのように利用して回遊しているのかという実態そのものについての認識が不足しているのが現状である。

こうした観点から、本研究は、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、せせらぎ魚道におけるモクズガニの生息分布とメガロパ幼生の

着底・変態状況を、現地調査から明らかにしようとするものである。具体的な目的は以下のようである。まず、せせらぎ魚道の詳細な地形情報を測量によって明らかにし、次いで、約2週間ごとのサンプリング調査結果から、メガロパ幼生の着底場所と最盛期を明らかにすること、また、メガロパ幼生が一齢稚ガニに変態する状況、稚ガニとしての生息量など、モクズガニの成長段階ごとの生息分布を明らかにして、それらの統計的な有意性を検定する。さらに、潮位、流速および密度分布（温度、塩分濃度）の関係で、メガロパ幼生の着底状況を考察するとともに、せせらぎ魚道と呼び水式（階段式）魚道の比較によって、モクズガニの生活史の観点から感潮域における魚道の機能を評価する。

2. 現地調査の概要

2.1 地形測量

図-1に示したように、長良川河口堰には3種類（せせらぎ・呼び水式・ロック式）の魚道が設置されている。せせらぎ魚道は河口堰右岸に設置され、延長320m、幅15m、河床は2段勾配となっており1/347（魚道下流部）、1/110（魚道上流部）である。魚道底部は玉石（粒径20～40cm）が配置され、河川のように蛇行と瀬・淵が形成されている。しかし、その形態や配置などの現況の詳細は公表されていない。そこで、せせらぎ魚道の構造を明らかにするために、2001年12月22～24日および2002年2月19～21日にトータルステーションによる地形測量を実施した。測量範囲は魚道下流端から200m上流までの主要部とし、魚道内における地形変化点や鳥害防止ブロック等の位置を三次元座標に整理した。図-2はGISソフト等を利用した測量結果である。測量点数は合計850に及び、測点数の多い空間を対象に魚道の河床構造のコンターラインを作成した。同図から、魚道には幅約3mの蛇行した滞筋が形成され、その滞筋には鳥害防止ブロッ

ク4個単位でマウンド（瀬）が規則正しく配置されていることが確認できる。

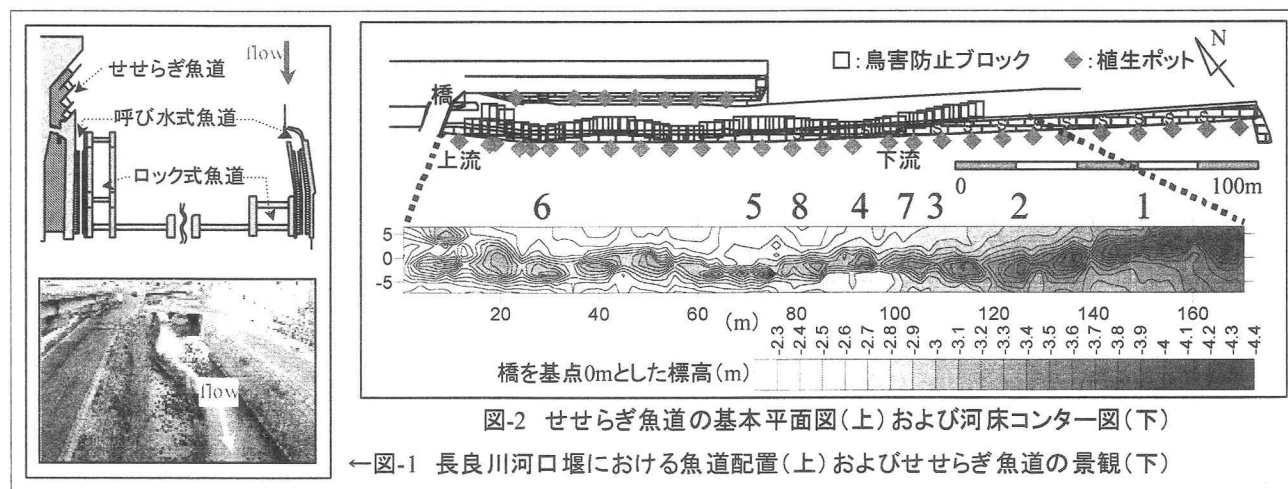
2.2 稚ガニトラップ調査

せせらぎ魚道を遡上するモクズガニの幼生（メガロパ）や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：10地点、計28個）を設置した。下流側を地点No.1、上流側をNo.6として、滞筋に沿う流れと鳥害防止ブロックの間に、同一の種類のトラップを3つ並べて設置した。その設置場所の概略を示したものが図-2であり、せせらぎ魚道の河床コンター図に設置番号が併記されている。なお、調査開始当初は、2002年1月10日～3月2日：計18個（6地点：図中①～⑥、同一種類のマット）、同年3月2日～5月25日：計24個（8地点：異なる種類のマットを図中⑦⑧に追加）、同年6月8日以降：4個追加（図中⑤⑧に間に設置）である。また、同年12月以降、呼び水式魚道の入口、出口、魚道内の8箇所に稚ガニトラップ（計8個）を追加している。

稚ガニトラップの回収は約2週間ごと（メガロパ幼生が一齢稚ガニに変態する期間）に行い、採集した幼生・稚ガニなどのサンプル個体は甲幅や体長を測定するために10%濃度のホルマリン水溶液あるいはエチルアルコールの原液で固定化した。また、トラップに付着した堆積物および藻類等はブラシ等でトラップから剥がした後、同様にホルマリン溶液で固定し回収した。

2.3 水理の調査

せせらぎ魚道は汽水域に設置されているために、潮汐の影響を受けて流況や密度場は著しく変化する。これらの挙動を把握するために、水温、塩分濃度、流速の測定調査を2001年12月24日の小潮時に実施した。測定には、水質モニタリングシステム（堀場製作所製）、2次元電磁流速計（KENEK製）を用いた。また、温度データロガー（onset社製）をせせらぎ魚道の広範囲（25箇所）に



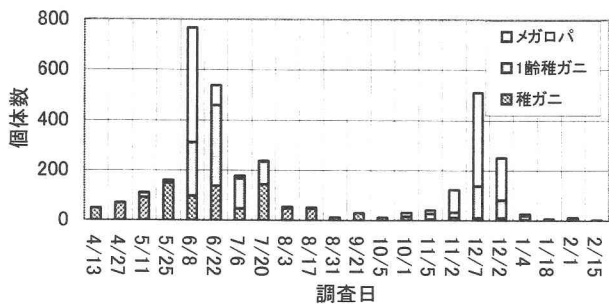


図-3 成長段階ごとの全個体数の推移

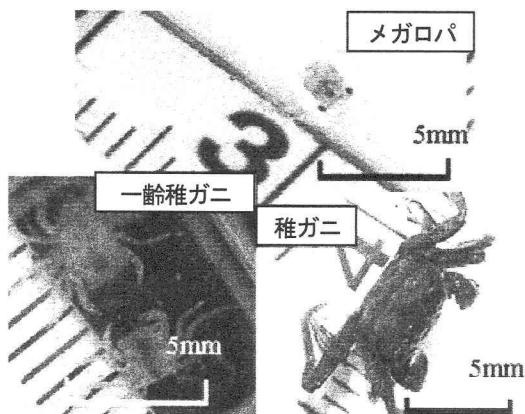


図-4 モクズガニのサンプル画像

設置して、冬季（2002年1月10日～3月3日）における水温を計測した。これらの結果により、せせらぎ魚道における塩水楔の遡上状況が把握されている。なお、せせらぎ魚道に併設されている呼び水式魚道の水理特性は、2002年12月7日と14日に行った。

3. モクズガニの個体数と生息分布

3.1 全個体数の変動

図-3は、採捕されたモクズガニの全個体数の時間的な推移（約2週間間隔）を示したものである。図中には、モクズガニを、メガロパ（幼生）・一齢稚ガニ（甲幅2～3mm）・稚ガニ（3mm以上）の3種類に大別して表示されている。一齢稚ガニとは、メガロパ幼生（海水の流れに浮遊）が脱皮・変態後、2週間ほど経過した年齢の稚ガニ（着底後、底面を這って移動）のことである。また、図-4は、その採捕されたモクズガニの成長段階ごとの個体サンプル（メガロパ幼生、一齢稚ガニ、稚ガニ）である。

同図から、遡上量のピークが2回、6月8日と12月7日に発生したことが確認できる。このピーク時における成長段階ごとの個体数の割合を示したものが表-1である。これらの結果から、メガロパの個体数の割合が50%を超えていること、その約2週間後には、メガロパが一齢稚ガニに変態したこと、1月から3月にはメガロパは全く採

表-1 ピーク時における成長段階ごとの組成

成長段階	6/8（1次ピーク）		12/7（2次ピーク）	
	個体数	比率(%)	個体数	比率(%)
稚ガニ	98	13	9	2
一齢稚ガニ	213	28	128	25
メガロパ	456	59	373	73
合計	767	100	510	100



図-5 調査期間における水温の時系列

捕されず、8月から11月にかけて、メガロパと一齢稚ガニはわずかに採捕されていることなどがうかがえる。

モクズガニは親ガニが産卵のために降河し、河口域で繁殖活動を行う。平均水温が20℃以上で産卵すると2週間ほどで孵化（ゾエア幼生）し、15℃から10℃以下に水温が低下する秋から冬になると3ヶ月近く孵化に時間がかかるといわれている³⁾。また、産卵→孵化→ゾエア幼生（海域）→メガロパ幼生（淡水への適応）→せせらぎ魚道への着底、というプロセスを考慮すると、繁殖期は5月上旬頃と9～10月あたりにあると考えられる。一般に、繁殖期は2つに分けられるグループがあり、秋から冬にかけて繁殖を行うものと、冬から初夏にかけて産卵を行うものから成り立っているとされている³⁾。

調査結果から、長良川河口堰周辺においても同様の傾向にあることが明らかにされた。また、図-5は調査期間内（2002年3月～2003年1月）における水温の時系列分布を示したものである。図-3からわかるように、6月8日の第1ピーク後の翌6月22日には、一齢稚ガニの個体数が多く、12月7日の第2ピークではこの傾向が弱い。この第2ピークにおける一齢稚ガニへの変態の遅れあるいは減少は、水温の低下などが要因として考えられる。

3.2 成長段階ごとの個体数の経時変化

図-6は、魚道内に設置した稚ガニトラップによる採捕数の空間的な変化を示したものである。地点No.3,4,5およびNo.7,8の個体数が多く、No.8の個体数が最も多い。トラップに用いた人工マットの形状は、4種類（クローバ、マツ、ササ、芝状）である。No.1～6は、芝状マットを片面、No.7では両面、No.8はクローバ状を利用して

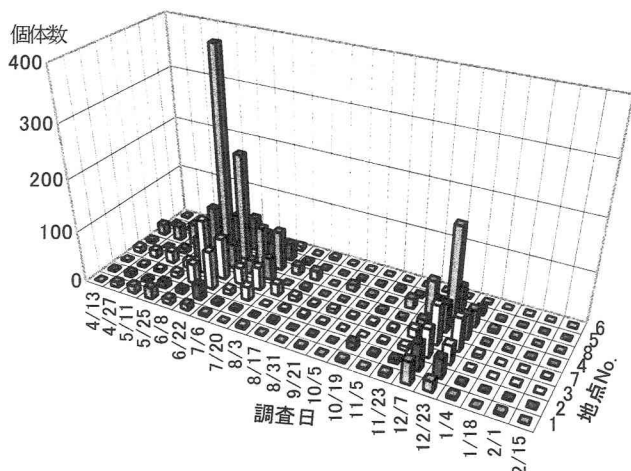


図-6 地点ごとの個体数の時空間分布

いる。このNo.8では、稚ガニの生息しやすい適度な空隙が立体的に形成されているので、かなりの個体数がトラップされやすく、個体数のみならず、体サイズも大小様々な個体が採捕されている。また、これらの地点は潮間帯に位置しており、メガロパ幼生の着底過程に関連する塩水楔の侵入状況と密接に関連していることが想定される。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。ゾエア幼生からメガロパ幼生へ変態すると淡水適応力が高まり汽水での底生生活へ移行する。メガロパ幼生は着底後、1齢稚ガニへと変態し、甲幅が5~6mmに成長すると淡水域への遡上を開始するといわれている¹⁾。モクズガニがメガロパから成体へと変態するこの時期に着底できるか否かは、生活史の中でもきわめて重要な過程である。

3.3 統計的な有意差の検定

(a) 生息場所の差異による個体数変動

同種類のトラップを用いたNo.1~6における個体数の統計的有意差の検定を行った。検定にあたって、繰り返しのある二元配置分散分析と最小有意差検定の方法を用いた。因子A：地点No.、因子B：調査日、帰無仮説：個体数への各因子による有効的な影響はない（場所と時期とは無関係にモクズガニは生息している）とした。二元配置分散分析の結果、両因子とも帰無仮説が棄却され、地点、調査日ごとに有意差があることが認められた。また、最小有意差の検定によれば、地点No.4とNo.1,2,6、地点No.6とNo.3,4,5には有意差がある。この最小有意差検定の結果と各地点の個体数の平均値を示したものが図-7である。同図から、No.3,4,5の差異は明確でないが、他の地点と有意な差が生じていることが検証された。このNo.3,4,5の地点は、小潮から中潮にかけての塩水楔の侵入上流端に位置している。

(b) トラップ形状の差異による個体数変動

本調査では、4種類（クローバ、マツ、ササ、芝状）

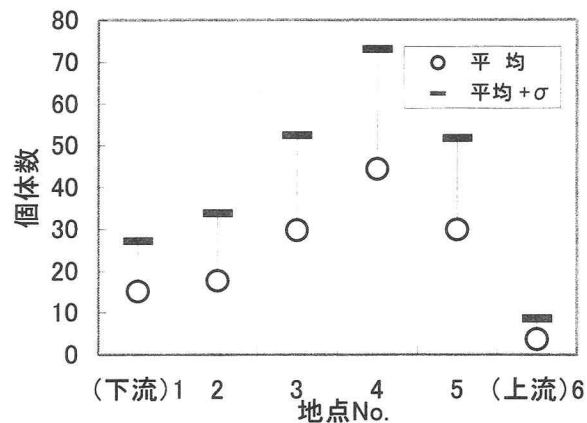


図-7 生息場所の差異による個体数変動

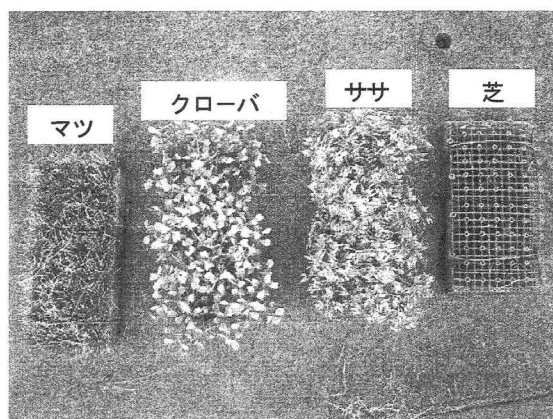


図-8 各種の稚ガニトラップ（4種類）

の稚ガニトラップを用いており、これらの差異を検定した。図-8はそのサンプルを示したものである。なお、設置地点はNo.5,8の間である。上記と同様に、二元配置分散分析と最小有意差検定を用いた。因子を調査日、トラップの種類とし、帰無仮説を「個体数への各因子による有効的な影響はない（トラップの種類、時期に関係なくモクズガニは生息している）」とした。検定結果は帰無仮説を棄却できない結果となり、この4種類のトラップに有意差は認められなかった。

地点No.4,7,8では、それぞれ芝状を片面、両面、クローバ状のトラップを用いており、この3種類のトラップ形状による有意差を検定した。この場合、地点間距離（±3m）という確定因子が存在するが、この影響はないものと仮定した。因子A：地点No.4,7,8（トラップの種類）、因子B：調査日、帰無仮説：個体数への各因子による有効的な影響はない（トラップの種類と時期とは無関係にモクズガニは生息している）とした。その結果から、両因子とも帰無仮説が棄却され、地点（各トラップの種類）、調査日ごとに有意差があることが認められた。また、最小有意差検定によれば、地点No.4（芝状片面）とNo.8（クローバ状）、No.7（芝状両面）とNo.8

表-2 χ^2 検定による各地点の甲幅構成比

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
7	甲幅5~7mm (中サイズ) に偏り
4	2mm未満 (メガロバ幼生) に偏り
8	2mm未満 (メガロバ幼生) 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

(クローバ状)には有意差がある。したがって、クローバ状のトラップの採捕効率が最も高い。

(c) 同一地点の設置場所の偏りによる個体数変動

各地点には、溝筋を沿う流れに対して垂直方向に稚ガニトラップを3個設置している。この同一地点における設置場所の偏りに対して、同様な有意差の検定を行った。全データから成長段階 (稚ガニ、一齢稚ガニ、メガロバ幼生) ごとに分類し、因子A: 調査日、因子B: 設置場所 (流心側、鳥害防止用ブロック側、その中間の3箇所) である。二元配置分散分析および最小有意差検定の結果、メガロバ幼生、一齢稚ガニは帰無仮説を棄却できない結果となった。稚ガニについては、帰無仮説は棄却されたため、位置による有意差が認められた。すなわち、稚ガニは流心側よりも鳥害防止用ブロック側で採捕されやすい。流心側では干潮時にせせらぎ魚道の主流を形成する場所であり流速も大きい。メガロバや一齢稚ガニの移動形態は流れに遊泳するので移動能力が低く、流れに対して受動的である。それに対して稚ガニは流れなどの環境条件に能動的であるので、流れが緩く鳥害防止用ブロックによるカバー効果などが期待できる方へ移動する能力に依存しているものと考えられる。

(d) 甲幅測定による個体群の変動

孵化した幼生 (ゾエア幼生) は、5回の脱皮を続けることで、体長約0.3mmの1齢幼生から1.5 mm程度の5齢幼生を経て、2mm程度のメガロバ幼生となる⁴⁾。このメガロバが脱皮して甲幅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、あるいは、甲幅4~7mm (最小3.7 mm) ほどの稚ガニが淡水域に侵入し上流へ遡上を開始する。遡上しながらカ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⁵⁾。このことから、甲幅によってモクズガニの成長段階と年齢を推定することができる。

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) に分類し、割合 (構成比) を比較した。適合度の検定には、

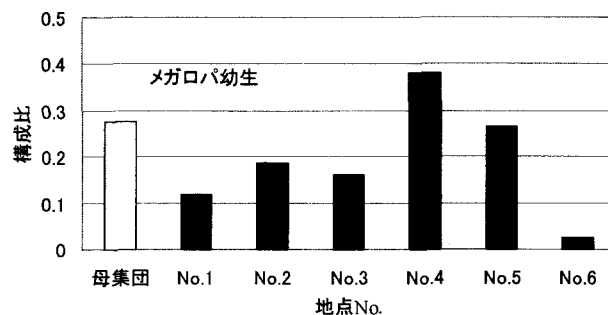


図-9 メガロバ幼生の構成比の空間的变化 (χ^2 検定)

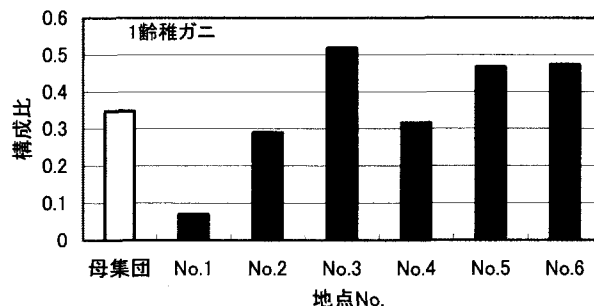


図-10 一齢稚ガニの構成比の空間的变化 (χ^2 検定)

χ^2 検定を用いた。なお、 χ^2 検定ではデータ数>5、期待度数>5が必須条件であり、これを満たしていない地点No.6では信頼度が低い。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。母集団構成比と各標本構成比を比較した結果を表-2にまとめた。地点No.3,4,5ではメガロバ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。メガロバ幼生は着底後、汽水域で6~7mm程度に成長した後、遡上を開始するといわれており、この魚道周辺の汽水域を生息場としていることが確認された。

図-9および図-10は、メガロバ幼生と一齢稚ガニについて、 χ^2 検定で得られた構成比を地点ごとに比較したものである。図中の左側は母集団における構成比を示している。同図から、メガロバ幼生はNo.4で多く、No.6ではきわめて少ないこと、一齢稚ガニはメガロバ幼生の着底が多いNo.3,4,5周辺で多く、No.1で少ないことなどがわかる。なお、No.1はほぼ常時海水が進入する地点、No.6は大潮時のみ海水が進入する地点である。

4. 呼び水式魚道との比較

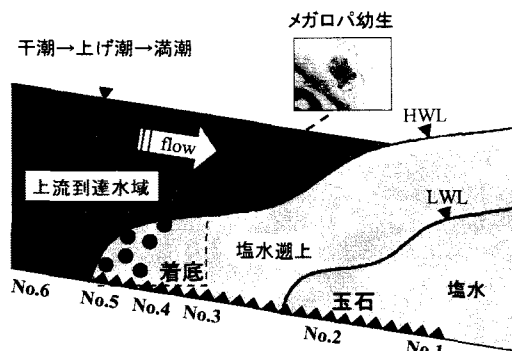


図-11 塩水楔によるメガロパ幼生の輸送過程（模式図）

せせらぎ魚道と呼び水式（階段式）魚道の最も大きな違いは、塩水遡上を魚道内に許容しているか否かである。呼び水式魚道の最下流端の隔壁は可動式となっており、潮位によって制御されている。したがって、可動制御されている隔壁の存在によって、流れに受動的なメガロパ幼生や一齢稚ガニは呼び水式魚道内に進入できず、魚道隔壁あるいはロープを利用して遡上できる体サイズに成長するまで、魚道入口に滞留することになる。呼び水式魚道の採捕調査（2002年12月以降）の結果、魚道内ではメガロパ幼生を含む小サイズの稚ガニが全く採捕されなかったこと、魚道入口では一齢稚ガニ、各種サイズの稚ガニ（モクズガニ以外を含む）が多く採捕されたこと、魚道出口には甲幅7mm以上の比較的大きなサイズの個体が採捕されたことなどから、本調査で用いた稚ガニトラップで採捕できる小さい体サイズのモクズガニは、呼び水式魚道を利用していない可能性を示唆している。

一方、せせらぎ魚道では、図-11の模式図のように、塩水楔の遡上によって流れに受動的なメガロパ幼生を輸送し、河床の着底条件がよければその場所にトラップされて一齢稚ガニに変態することができる。天敵からの捕食、餌料環境がよければ、この汽水域で甲幅6～7mm程度まで成長を続け、上流側へ遡上を開始することになる。

5. おわりに

以上、長良川河口堰の「せせらぎ魚道」において現地調査を実施し、せせらぎ魚道の詳細な地形情報、モクズガニの遡上のピーク時期、着床場所を把握することができた。今後さらに、せせらぎ魚道の流速、水深、乱れ、塩分濃度などといった水理特性を把握し、塩水楔の浸入状況とモクズガニの個体数分布を関連づけて明らかにする予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、助言を頂いた京都大学防災研究所助教授 竹門康弘博士、せせらぎ魚道の調査にご協力頂いた水資源開発公団・長良川河口堰管理所環境課に感謝の意を表します。なお、本研究は、科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)：課題番号13650576）および（財）土屋環境教育振興財団の研究助成を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 新村安雄：長良川河口堰の呼び水魚道とせせらぎ魚道一種アユの遡上からみた機能比較一，応用生態工学 3(2)，pp.169～178，2000.
- 3) 小林 哲：河川環境におけるカニ類の分布様式と生態—生態系における役割と現状—，応用生態工学 3(1)，pp.113～130，2000.
- 4) 小林 哲：モクズガニの繁殖生態（総説），日本ベントス学会誌，No.54，pp.24～35，1999.
- 5) 小林 哲：通し回遊性甲殻類モクズガニの生態—回遊過程と河川環境—，生物科学，No.51，pp.93～104，1999.
- 6) 志村俊輔：長良川河口堰「せせらぎ魚道」におけるモクズガニの遡上実態と魚道の機能評価に関する研究，岐阜工業高等専門学校卒業論文，71p.，2003.
- 7) 和田 清・小出水規行・今村和志・志村俊輔：長良川河口堰「せせらぎ魚道」におけるモクズガニの遡上量に関する研究，土木学会中部支部平成14年度研究発表講演概要集，II-22，pp.193-194，2003.

(2003. 4. 11受付)