

長良川河口堰せせらぎ魚道における 塩水遡上頻度と貝類の生息分布

和田 清¹・安藤 雅大²・田上 寛之³・岡辺 拓巳⁴

¹正会員 (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)
E-mail:wada@gifu-nct.ac.jp

²学生会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校専攻科 (〒501-0495岐阜県本巣市上真桑2236-2)
E-mail:2010k01@edu.gifu-nct.ac.jp

³学生会員 (独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校専攻科 (〒501-0495岐阜県本巣市上真桑2236-2)
E-mail:2011k09@edu.gifu-nct.ac.jp

⁴正会員 豊橋技術科学大学 産学官連携研究員 (〒441-8580愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)
E-mail:okabe@jughead.ace.tut.ac.jp

本研究は、長良川河口堰の右岸側に位置し塩水遡上を許容した人工河川「せせらぎ魚道」を対象として、貝類などの生物の生息場の評価に塩水遡上の影響を考慮するために、河口密度流の混合過程を把握し、塩水遡上頻度と生物相の生息分布の関連性を調査したものである。大潮時に高塩水(最大塩分濃度24%)が魚道内部に侵入すること、河口堰の影響により潮汐流が弱流化し魚道中央部で塩水遡上速度は1~10cm/s程度の緩流速であること、塩分濃度による耐性に応じて貝類の生息分布が大きく異なることなどが明らかにされた。

Key Words :salt water intrusion, saline wedge, ADCP, spiral shell, Nagara estuary barrage

1. はじめに

長良川河口堰の運用は 1995 年に開始され、各々の魚道には、目的に合わせた工夫が凝らされている。魚道の機能評価は、河口堰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。

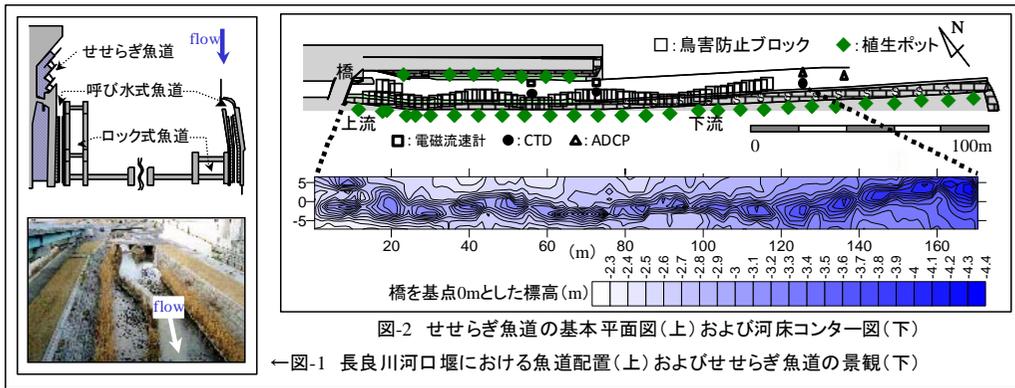
せせらぎ魚道を含めた異なったタイプの魚道の機能評価については、モニタリングデータを利用した遡上魚類や甲殻類に関する解析などが行われている¹⁾²⁾。その結果、河口堰を多数の回遊性水生動物が通過している事実が報告された。降河回遊性のモクズガニについては、成体、未成体ごとに分類して採捕数を比較した結果、せせらぎ魚道で未成体が多く採捕されたこと、成体は呼び水式魚道で多いことなど、甲殻類や魚類の種類・個体数について、各種魚道の特性が明らかにされつつある¹⁾²⁾。

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、幼生の着底場所の制限、稚ガニの生

息場所の制限、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。こうした観点から、著者らは、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・変態状況を明らかにしてきた。その結果、せせらぎ魚道の地形情報や塩水楔の進入状況の概略、モクズガニの遡上ピーク時期、メガロパ幼生の着床場所、稚ガニの生息分布などが把握された³⁾。

一方、せせらぎ魚道において、具体的にどのような物理環境的な流れ場が生じているのか、比較的長期間魚道内を生息場とする甲殻類や貝類などに対して、魚道をどのように利用しているのかという実態についての認識が不足しているのが現状である。

そこで本研究では、長良川におけるモニタリングデータを活用し、洪水による河口密度成層の破壊と再生過程を考察しながら、長良川河口堰「せせらぎ魚道」を対象とした塩水遡上時における河口密度流の流速分



布および密度分布の時空間的観測を行い、塩水と淡水による河口密度流の形成過程、さらには塩水遡上による冠水頻度と貝類の生息分布の関連性について考察したものである。

2. 長良川河口堰のモニタリングデータ

河口堰建設に伴って、治水・利水・環境（水質・底質・生物等）のモニタリング（1995～1999年度）、フォローアップ（2000～2004）データが蓄積されている。今回は、河川流量による河口堰下流部の密度流の把握に主眼を置いているので、揖斐長良大橋（河口から 3.0km）および城南（河口から 0.15km）の塩分濃度（塩化物イオン濃度から換算，上層：20%水深，下層：80%水深，底層：河床 0.5m 直上）と潮位変動，河川流量（墨俣）に着目して時系列解析を行い、河口堰の建設前後における密度流の状態の差異を把握した。さらに、現在の河口堰直下（河口堰下流約 100m）の水質モニタリングデータにより、洪水時における密度成層の破壊・再生過程を把握するために、せせらぎ魚道調査期間：2011年1月1日から同年4月11日の3ヶ月間における10分間隔の潮位，水温（上層，下層，底層），塩分濃度（上層，下層，底層）を潮位変動および河川流量に着目して時系列解析を行った。

3. せせらぎ魚道における現地調査の概要

(1) 魚道の形状特性

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（図-1 参照）。せせらぎ魚道は河口堰の最右岸に設置され，全長 320m，幅 15m，河床は途中で，1/347（魚道上流部），1/110（魚道下流部）の2段勾配となっている。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。なお，魚道流量は最上流部の

ラバーゲートで調整されている。

図-2 は，トータルステーションの地形測量によりせせらぎ魚道の構造を示したものである。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。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。同図からわかるように，魚道には幅約 3m の蛇行した滞筋が連続的に形成され，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，せせらぎ魚道は竣工されてからその構造に大きな変化はないことなどが確認された。

(2) モニタリング機器類の設置

河口から 5.4km 地点の長良川河口堰せせらぎ魚道において，河口密度流の塩水遡上が顕在化する大潮から小潮を含む潮位を基本とし，2011年1月23日（中潮）から4月10日（小潮）の約 2.5ヶ月間断続的な自動観測を行った。使用機器は，塩水遡上状況（潮位，流速，密度分布，水温）を計測するために，Nortek 社製超音波多層流向流速計（以下，ADCP），FSI 社製水質計（以下，CTD），アレック電子社製 3 次元電磁流速計（以下，電磁流速計），onset 社製温度計測ロガー（以下，温度ロガー）を用いた。モニタリング機器類の設置座標を図-2 に併記した。計測間隔は 10 分を基本とし，ADCP（層厚 20cm）は魚道下流部に常設，CTD および電磁流速計は 2～3 地点の瀬に設置し，温度ロガーは塩水の遡上速度を把握するために魚道内に 5ヶ所設置した。なお，取得したデータは，AquaPro，CTDProv2.45，WinCEM などのソフトウェアを用いて解析を行った。また，表-1 に示したように，調査期間は 2011年1月23日～2月6日，3月21日～4月3日，4月3日～4月10日の3回に分けて自動観測を行った。密度流の塩水遡上が顕在化する大潮から小潮を含む潮位を基本とした。同表には，観測機器ごとの観測期間，設置高（TP.）が示されている。

表-1 モニタリング機器類の設置条件

観測機器	設置高T.P.(m)	観測期間
ADCP	-1.035	2011年1月23日～2011年2月6日
電磁流速計	0.234	
CTD	-0.035	
ADCP	-1.246	2011年3月21日～2011年4月3日
電磁流速計	0.307	
CTD	0.158	
CTD	-1.203	2011年4月3日～2011年4月10日

(3) 貝類のサンプリング

生物の生息場と塩水遡上の影響の関連性を調査するために、2011年4月3日（大潮）干潮時においてせせらぎ魚道内に生息する貝類や固着動物を対象としたサンプリングを行った。採取場所は観測機器（ADCP,CTD）の設置場所を含めて、高塩分水が遡上する魚道最下流部（汽水域、ADCP 設置場所）から河川水が流入するせせらぎ魚道上流部（淡水域、ラバーゲート設置場所）にかけて27地点で行った。50cm×50cmのコドラートを設定し、1地点あたりのサンプリング数は約15～30個体であり、それらの種類の同定とサイズを計測した。

4. 結果および考察

(1) 長良川におけるモニタリングデータの解析

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流化したことが指摘されている⁴⁾。河口堰直下の底層の高塩分化和潮位、河川流量の関係を明らかにするために、揖斐長良大橋における上層（20%水深）・底層（河床0.5m直上）の塩分濃度を対象として解析を行った。図-3および図-4は、揖斐長良大橋における長良川河口堰運用以前の1995年1月および2002年1月のそれぞれ1ヶ月間における潮位および上層と底層の塩分濃度の時系列変化を示したものである。同図より、河口堰運用後、上層は弱塩分化し、底層に高塩分水塊が停滞していることがわかる。また、図-5は、河口堰運用前後における上層と底層の塩分濃度の相関を示したものである。同図から明らかなように、河川流量が少ない冬季では、底層の高塩分水塊の停滞がより顕在化していることがわかる。これらのことから、堰を越流した河川流は表層付近を流下し、弱流化した潮汐流との混合が抑制されて、高塩分水が底層に停滞していることが示唆された。

次に、塩水による密度成層状態と河川流量の関係について考える。図-6は小洪水時（330m³/s、2011年2月18日）における堰直下の塩分濃度の上層（20%水深）、下層（80%水深）、底層、河川流量（墨俣観測地点の位相遅れを考慮）、潮汐変動を示したものである。長良川河口堰では河川流量が800m³/s以上の洪水時には、堰のゲ

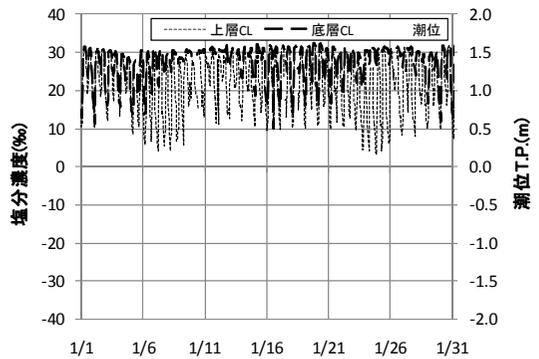


図-3 河口堰運用前(1996年1月)の時系列変化

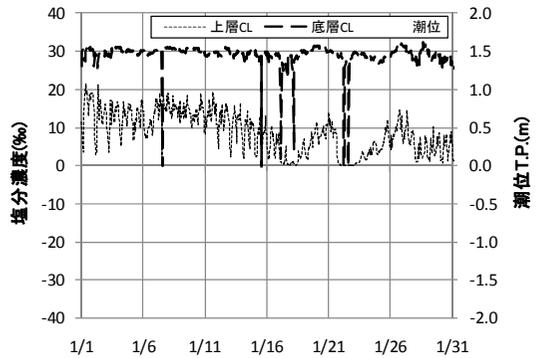


図-4 河口堰運用後(2002年1月)の時系列変化

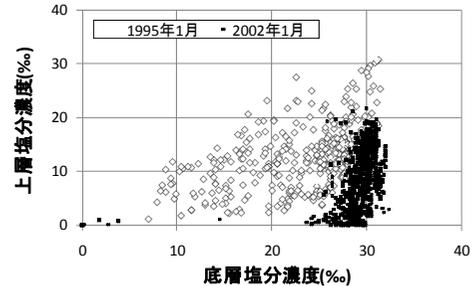


図-5 河口堰運用前後の塩分濃度の相関

ートを全開にして河川水を流下させる処置を行っている。同図から、長良川河口堰直下では河川流量300m³/sにおいて全層（全水深）において塩分濃度が0となり、塩水がすべて流下し密度成層が破壊されていることが確認された。その後、上げ潮時において底層から塩水の浸入と成層化の進展が認められる。再び密度成層化する時間は、洪水規模（河川流量や継続時間）および潮汐変動に大きく依存することが示唆された。

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、その後も断続的に強い余震が発生した。長良川河口堰においても地震および津波による影響が確認された。図-7は3月11日から3月14日における潮位、塩分濃度（上層、下層、

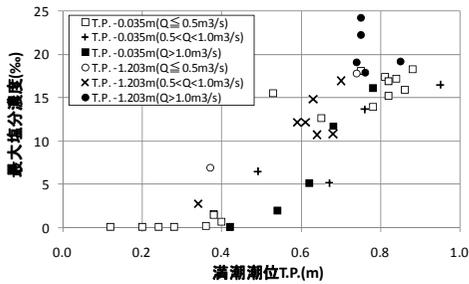


図-10 最大塩分濃度と満潮時の潮位

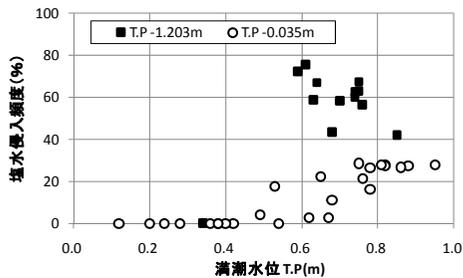


図-11 塩水停滞時間と満潮時の潮位

度と満潮時の潮位を示したものである。同図より、海側の T.P.-1.203m 地点の塩分濃度が T.P.-0.035m と比較して高い、T.P.-0.035m 地点では満潮時の潮位が 0.4m 以下では塩水が遡上しないことがわかる。また、T.P.-1.203m 地点では上げ潮時に塩分濃度の増減が見られ、長時間停滞していることが確認された。

図-11 は、一潮汐周期の最大潮位 (H.W.L) と高塩水の停滞時間の割合を示したものである。なお、高塩水停滞を判断する塩分濃度を 5‰ に設定した。同図より、せせらぎ魚道中央部の T.P.-0.035m 地点と魚道入口部の T.P.-1.203m 地点では、塩水が侵入・滞留する割合に差異が生じていることがわかる。T.P.-0.035m では一潮汐において塩水侵入時間的割合は最大約 30% であり、H.W.L が 0.5m 以下である場合には高塩水 (5‰ 以上) は遡上しないことが確認できる。一方、T.P.-1.203m 地点では H.W.L が 0.6m 以上において一潮汐における塩水侵入時間的割合が 60% 前後である。これは、T.P.-1.203m 地点では、下げ潮時に高塩分水が流下せず下流部に停滞していることなどが影響していると考えられる。

d) せせらぎ魚道における貝類の生息分布

2011 年 4 月 3 日 (大潮) 干潮時において、高塩分水が遡上するせせらぎ魚道最下流部 (汽水域) から河川水が卓越する魚道上流部 (淡水域) の 27 地点において貝類、固着動物を対象としたサンプリングを行った。図-12 は貝類、固着動物の生息範囲を図-2 と同様に橋を基準にし

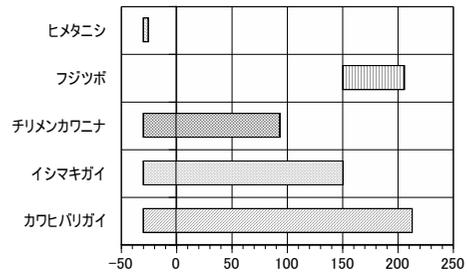


図-12 貝類・固着動物の生息範囲
(橋を基準、図-2 と対応)

た水平距離で示したものである。同図から、せせらぎ魚道には主にカワヒバリガイ、イシマキガイ、フジツボ、チリメンカワニナ、ヒメタニシが生息していることが確認された。カワヒバリガイおよびイシマキガイは汽水域・淡水域で生息が可能であり、チリメンカワニナ、ヒメタニシは主に淡水域に生息する貝類である。生物の生息域から淡水域と汽水域の境界領域の目安としてチリメンカワニナを用いた。チリメンカワニナが生息するサンプリング地点 13 地点から上流は淡水域、もしくは塩水侵入頻度・遡上塩分濃度が非常に低い地点であることがいえる。この地点は CTD の観測点 (T.P.+0.158m) の付近であり、魚道内を流下する河川水量が著しく低下しない限り、高塩水遡上は見られなかった場所である。また、固着動物のフジツボ類は、高塩分水が多くの頻度で浸入する CTD の観測点 (T.P.-0.035m と -1.203m) の中間域に生息している。イシマキガイは淡水・汽水性の巻貝であり両側回遊型の生活史をもっており、高塩分の魚道入口付近にまで分布域を拡大している。カワヒバリガイは特定外来生物に指定されている淡水性二枚貝であるが、ほぼ全領域で確認されている。これらのことから、高塩分濃度による耐性や塩水遡上頻度 (継続時間) に応じて貝類・固着動物などの生息分布域が大きく異なることが明らかになった。

5. おわりに

以上述べたように、本研究では、長良川河口堰せせらぎ魚道における河口密度流の流速分布および密度分布の時空間的な計測を行い、塩水と淡水による河口密度流の形成過程、さらには塩水遡上による冠水頻度と貝類の生息分布の関連性について考察した。

その結果、河口堰モニタリングデータから河口堰運用後、堰下流の底層において高塩分水が停滞していること、堰下流に形成された密度成層状態は河川流量 300m³/s 程度で破壊され、再び成層化することが確認された。一方、せせらぎ魚道では、大潮時に高塩水 (最大塩分濃度 24‰) が魚道内部に侵入すること、河口堰の影響により

潮汐流が弱流化し魚道中央部で塩水遡上速度は 1～10cm/s 程度の緩流速であることが確認され、塩水楔が遡上する弱混合型であることが推察された。また、魚道下流ほど塩水が侵入・停滞する時間的割合が高く、魚道最下流部底部(TP: -1.203m)では潮汐周期の 60%の時間帯において塩分濃度 5%以上の比較的高塩水が侵入・停滞していることが明らかにされた。さらに、生物調査から、せせらぎ魚道では外来種カワヒバリガイが広く生息していること、また、魚道上流部(淡水域)ではチリメンカワニナやヒメタニシ、下流部ではイシマキガイ、フジツボなどが生息し、塩分濃度による耐性や塩水遡上頻度に応じて貝類や固着動物の生息分布が大きく異なることが明らかにされた。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、助言を頂いた水圏環境研究会代表 寺町 茂 氏、せせらぎ魚道の調査にご協力およびデータ提供を頂いた(独)水資源開発機構長良川河口堰管理所環境課に深く感謝の意を表します。

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稚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) 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着底・生息分布，土木学会河川技術論文集，第 9 巻，pp.493～498，2003.
- 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，科研成果報告書「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」(代表:玉井信行,課題番号 13305035,(A)(1)),pp.113～129, 2003.

(2011.9.8 受付)

DISTRIBUTION OF DENSITY FLOW RELATED TO SALT WATER INTRUSION IN THE SESERAGI-FISHWAY AT THE NAGARA ESTUARY BARRAGE

Kiyoshi WADA, Masahiro ANDO, Hiroyuki TAGAMI and Takumi OKABE

In this study, the field observation and the analyses were performed to investigate to contamination of tidal water quality about distribution of density flow velocity related to salt water intrusion in the Seseragi-fishway around the Nagara estuary barrage. As results, it is clarified that the influence of freshwater discharge and the buoyancy effect of a flow in the estuary are investigated, maximum velocity and concentration of a saline wedge have been measured. It is pointed out that the Seseragi-fishway have a function of settlement and upstream migration for supplement of decrease 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 aquatic habitat.