

長良川河口堰魚道の遡上魚類群集に関する モニタリングデータの解析

STATISTICAL ANALYSIS OF MONITORING DATA FOR FISH COMMUNITY ASCENDING FISHWAYS IN THE NAGARA ESTUARY BARRAGE

小出水規行
Noriyuki KOIZUMI

正会員 博(農) 農業工学研究所研究員 農村環境部 (〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6)

There are four types of fishways, left bank inducing-type, left bank lock-system, right bank inducing-type and naturally shaped fishway, in the Nagara estuary barrage. In this study, the monitoring data for fish community ascended these fishways was analyzed using analysis of variance, and the relationship between fish ascent, discharge and water temperature from the barrage and short duration flooding was examined. The following results were obtained: 1) many fish species and individuals ascended the naturally shaped fishway, and it showed that this fishway was available to the entire fish community. 2) Benthic-brackish water fish such as goby and righteye flounder showed a decreasing trend year to year. 3) The number of individual fish ascending the fishways varied among years, and the number in 1997 was greatest for each fishway. This variation, however, could not be explained using change of discharge and water temperature. 4) Further, the analysis supported the conclusion that the short duration flood did not influence migratory behavior of the fish for the naturally shaped fishway.

Key Words : The Nagara estuary barrage, fishway, fish community, analysis of variance

1. はじめに

長良川河口堰が1995年7月から運用されて以来、現在までに約6年が経過した。この期間、河口堰では防災、水質及び底質、生態に関するモニタリングが5年間にわたって実施されたが¹⁾、そのデータ量は膨大ゆえに、未解析部分が多い。例えば、河口堰魚道の機能評価については、水産対象種は解析されているが^{2), 3), 4)}、魚類群集を対象とする解析は行われていない。

河口堰の位置する汽水域は河川水と潮汐の影響を受け、その環境は複雑である。さらに、生息している生物種も多様なことから、河口堰の魚道機能については、水産対象種だけではなく、魚類群集を視点とする解析や評価も不可欠である。

本論文では、既報^{2), 3), 4)}においても利用されたモニタリングデータ¹⁾を使用して、河口堰魚道を遡上する魚類群集を統計学的に解析し、河口堰からの放流量や水温、洪水との関連性について検討した。

2. 材料及び方法

(1) 河口堰魚道

長良川河口堰の魚道配置を図-1に示す。河口堰には左岸と右岸、それぞれ2つの魚道が設置され、左岸の岸側には呼び水式魚道、河川側にはロック式魚道が配置されている。一方、右岸の魚道は、河川側が呼び水式魚道、岸側がせせらぎ魚道となっている(図-1)。

各魚道の構造について略述すると^{3), 4), 5)}、左岸の呼び水式魚道には、中央に幅2.0mと1.0mの呼び水水路があり、その両側に幅3.0mの階段式魚道(各プール長3.0m, 勾配1/30)が設置されている。魚道と呼び水水路の流量は、それぞれ $1.3\text{m}^3/\text{s}$ と $2.4\text{m}^3/\text{s}$ であり、魚道越流部(隔壁上)の流速は 0.5m/s となっている。左岸のロック式魚道は幅30.0m, 2段式ゲートによって水位が調整されている。オーバーフローとアンダーフローのゲート操作が可能であり、流量は $3.8\text{m}^3/\text{s}$ 程度である。

右岸の呼び水式魚道は、中央にある幅1.0mの呼び水水路2本と幅2.5mの階段式魚道(各プール長3.0m, 勾配

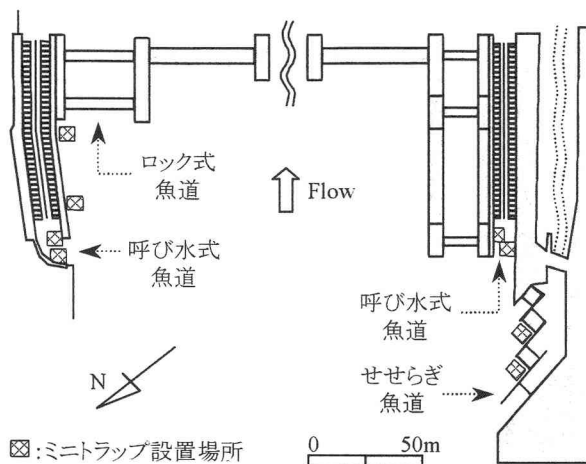


図-1 長良川河口堰の魚道配置およびミニトラップの設置場所。

1/30)2本によって構成されている。流量は魚道で $1.1\text{m}^3/\text{s}$ 、呼び水水路で $1.6\text{m}^3/\text{s}$ 、魚道越流部の流速は左岸のものと同じである。右岸のせせらぎ魚道は、幅 15.0m、延長 320.0m、勾配 1/110、瀬淵構造をもつ幅 3.0m の蛇行水路が玉石によって作られている(図-1)。魚道の流量は $0.8\text{m}^3/\text{s}$ 、流速は場所によって異なるが、 $0.1\sim 0.8\text{m}/\text{s}$ の範囲をもつ。

河口堰の各魚道は河川流量が $800.0\text{m}^3/\text{s}$ を超える場合、洪水時対策として次の操作が行われる。呼び水式魚道とせせらぎ魚道は入水口が全閉され、通水が中止される。左岸ロック式魚道は、他のゲートと共に開放(全開)状態となる。

(2) モニタリングデータ

a) 魚道遡上魚類

河口堰では、魚道を遡上する魚類や甲殻類を把握するため、ミニトラップを利用した生物採捕調査が実施された。ミニトラップは図-2 に示すように、幅 1.0m、長さ 1.5m、高さ 0.2m の金属製フレームに、目合い 1.5mm の袋網を取り付けたものである。

調査は 1995～99 年の 5 年間、各年 4～5 月を中心に、概ね 3 日ごとに行われた(延べ 91 回、年平均 18 回)。調査手順は各回で同一であり、網の開口部を下流に向けて、4 つのトラップが各魚道の直上流に設置された(図-1)。トラップの設置期間は 1 日であり、採捕生物については種名と個体数が記録されている。このミニトラップによる採捕結果は河口堰モニタリングデータとして公開されている¹⁾。

b) 河口堰放流量と水温

河口堰では運用開始以来、堰からの放流量と堰上下流の水温を 10 分間隔で計測している。流量と水温は魚類の遡上行動に影響を及ぼす環境要因となり得ることから、上記の魚類(モニタリング)データに対応する 1996～99

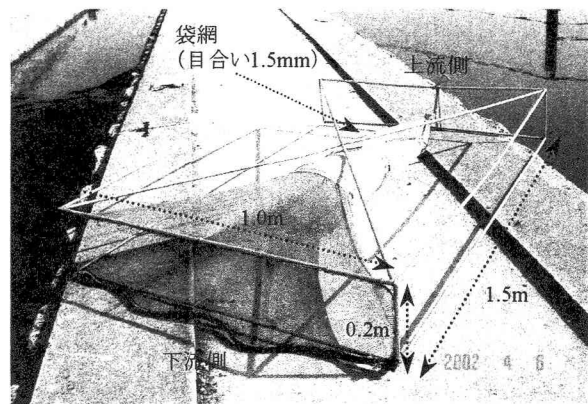


図-2 ミニトラップ全景

年の各年 4～5 月の堰流量と水温データを入手した(1995 年は運用前のため計測されていない)。

(3) データ解析方法

魚類データについては、記録されたすべての魚種を底生魚と遊泳魚の生息型に区分して、さらに、各生息型の魚種を純淡水魚、回遊魚、汽水沿岸魚の生活型に分類した。これらの分類単位ごとに、各魚道における年別の出現種数と平均(1 調査あたり)個体数を算出した。

算出した生息型、生活型に関する年別魚道別の種数と平均個体数について、魚道種類と年を因子(魚道種類の水準は左岸呼び水式、左岸ロック式、右岸呼び水式、右岸せせらぎの各魚道、年の水準は 1995、96、97、98、99 年の各年)とする分散分析を行った。種数の解析では繰り返しのない二元配置の分散分析、個体数の解析では繰り返し数の異なる二元配置の分散分析および一元配置の分散分析を利用し、それぞれの魚道または年のものが有意に多い、あるいは少ないかを比較した。

堰放流量と水温データについては、毎正時の計測値を使用して、日平均を求めた。さらに、年平均として、年ごとの日平均を平均した値を採用した。流量の年間の差については、年を因子とする一元配置の分散分析を、水温については、計測場所と年を因子(計測場所の水準は堰の上流と下流)とする繰り返しの異なる二元配置の分散分析を行った。

なお、ここでの分散分析においては、個々のデータが互いに独立であることを仮定し、分析の有意水準には 5%を用いた。因子が有意となった場合は、さらに、その因子の水準について、多重比較を行った。

3. 結果及び考察

(1) 魚類の魚道遡上状況

表-1 は、魚道別年別の魚道遡上魚種名、種数、平均個体数を示したものである。表-1 をみると、全調査期間を通じて、34 魚種 12,719 個体が確認(採捕)され、その内、

表-1 魚道別年別の魚道遡上魚種名, 種数, 平均個体数 (nは調査回数).

生態型	生活型	種名	左岸呼び水式魚道					左岸ロック式魚道					右岸呼び水式魚道					右岸せせらぎ魚道				
			95年 n=28	96年 n=11	97年 n=13	98年 n=12	99年 n=14	95年 n=28	96年 n=11	97年 n=13	98年 n=12	99年 n=14	95年 n=28	96年 n=11	97年 n=13	98年 n=12	99年 n=14	95年 n=28	96年 n=11	97年 n=13	98年 n=12	99年 n=14
底生	純淡水	スナヅメ															0.1					
		カマツカ			0.1					0.2										0.1		
		シマトシヨウ								0.1												
		ナマス															0.04					
		カヨシノボリ					0.1										0.4					
	回遊	個体数計	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0.4	0.04	0	0.1	0	0
		種数計	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0	0
		ウキ	0.4		0.2	0.1	0.2	0.04		0.4		0.5	0.04	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1	5.9	0.2	0.3	0.6
		ゴクラカゼ		1.2	1.4	0.4	0.1		2.6	3.5	1.0	0.2		0.3	0.1	0.2	0.2	0.04	2.9	4.0	1.7	1.1
		シマシノボリ												0.1					0.6	0.4	0.2	
		トウシノボリ		0.1	0.2	0.5	0.2			0.2				0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.5	0.6	0.2
		ヌマチチブ	0.3	0.8	1.1	3.0	3.4	0.1	0.5	1.2	4.4	2.9		0.5	0.5	1.6	0.7	2.9	14.4	2.9	43.3	37.4
		カハヤ	1.4			0.1		1.4					1.3			0.3		0.1				
		ビリンゴ	0.6	0.1	0.1			0.7	0.1				0.1	0.2				0.1			0.1	
		ウキコリ類	0.1	0.2	0.2	1.1	1.4	0.3	0.1	0.1	0.4	0.4	0.04		0.1	0.3	0.6	0.3	0.5	9.5	2.1	2.9
		アユケ	1.6		0.2			0.8	0.1	0.4	0.4	0.1	0.5		0.1	0.1	0.1	1.0	0.3	6.2	1.9	1.1
		カジカ	1.7	5.2	29.2	7.2	2.3	0.9	3.8	38.9	2.4	0.6	1.0	19.6	31.5	16.3	1.7	1.1	92.5	123.2	48.1	15.7
		個体数計	6.0	7.5	32.5	12.3	7.6	4.2	7.2	44.5	8.8	4.8	3.0	21.1	32.7	19.4	3.6	5.7	117.2	147.0	98.2	58.9
		種数	7	6	8	7	6	7	6	6	6	6	6	7	7	8	7	9	8	9	7	7
	汽水沿岸	アヘハヤ																0.04				
		シモリシマヤ	2.5	0.9			0.1	0.8	0.7				0.7	0.8			0.1	0.3	0.1			
		マヤ	6.2	0.2	0.2	0.6		16.9	0.7	0.4	0.9		8.6	0.7	0.3	1.2		1.0	3.1	0.2	0.6	
		アシロハヤ	0.2	0.2	0.1			0.4	0.3				1.4	0.1		0.3		0.1	0.5			0.1
		コチ	0.2					0.0					0.3									
		イカノレイ	2.2					8.4					6.6					0.1				
		個体数計	11.2	1.3	0.2	0.6	0.1	26.5	1.7	0.4	0.9	0	17.6	1.6	0.3	1.5	0.1	1.5	3.7	0.2	0.6	0.1
		種数	5	3	2	1	1	5	3	1	1	0	5	3	1	2	1	5	3	1	1	1
	個体数合計		17.2	8.8	32.8	12.9	7.9	30.7	8.9	45.1	9.8	4.8	20.6	22.7	33.0	20.9	4.1	7.3	120.9	147.2	98.8	59.0
	種数合計		12	9	11	8	8	12	9	8	8	6	11	10	8	10	10	15	11	10	10	8
遊泳	純淡水	ウキ			0.2			0.04					0.04		0.4	0.1		2.0	4.5	2.7	0.3	0.4
		モツコ									0.1											
		ヒガシ類	0.04				0.1								0.1		0.1					
		スゴモロコ類		0.1	0.1	0.3	0.1			0.3	0.2	0.1			0.8	0.3			0.1	1.9		0.1
		ニゴイ		0.1						0.4					0.5	0.3	0.1			0.1		
		ナガ	0.04		0.2	0.1					0.2	0.2			0.2	0.3	0.2	0.1		0.2	0.4	0.1
		ヤリナゴ															0.04					
		オオチバス												0.1								
	回遊	個体数計	0.1	0.2	0.4	0.3	0.1	0.04	0	0.7	0.3	0.4	0.04	0.1	1.9	0.9	0.4	2.1	4.5	4.9	0.7	0.6
		種数	2	2	3	2	2	1	0	2	2	3	1	1	5	4	3	3	2	4	2	3
		アユ				0.1										0.1		0.4	0.2	3.7	3.1	9.0
		個体数計	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.4	0.2	3.7	3.1	9.0
		種数	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
	汽水沿岸	ボウ																			0.1	
		スズキ	0.1	0.1	0.8		0.5	0.1	0.2	0.2					0.1	0.1				0.1		
		シマイキ	0.3										0.7									
		クロダイ																0.04				
		個体数計	0.4	0.1	0.8	0	0.5	0.1	0.2	0.2	0	0	0.7	0	0.1	0.1	0	0.04	0	0.1	0.1	0
		種数	2	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
	個体数合計		0.5	0.3	1.2	0.4	0.6	0.1	0.2	0.8	0.3	0.4	0.7	0.1	2.0	1.1	0.4	2.5	4.7	8.7	3.8	9.6
	種数合計		4	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	1	6	6	3	5	3	6	4	4
	総個体数		17.6	9.1	34.0	13.3	8.5	30.8	9.1	45.9	10.2	5.2	21.3	22.8	35.0	22.0	4.6	9.8	125.6	155.9	102.6	68.6
	総種数		16	12	15	11	11	14	10	11	10	9	13	11	14	16	13	20	14	16	14	12

底生魚が21種 11,638 個体, 遊泳魚が13種 1,081 個体を占めた。底生魚が種数と個体数ともに遊泳魚を上回り, 中でも, 回遊魚のヌマチチブとカジカ, 汽水沿岸種のマハゼの個体数が多く, それぞれの魚道で確認されている。一方, 遊泳魚については, 回遊魚のアユがせせらぎ魚道のみに出現し, 汽水沿岸魚のスズキがすべての魚道に出現している (表-1)。底生魚と比較して, 遊泳魚の数が少ないことは, トラップの構造と設置方法に原因があり, ここでは遊泳魚よりも底生魚の方が採捕されやすい傾向

にあったと考えられる。

(2) 魚道間及び年間の差

a) 魚種数

遡上魚種の魚道間および年間の差については, 表-1 から定性的に把握できるが, ここでは分散分析を利用して, できるだけ客観的に評価することを試みた。

図-3 は, 魚種数についての分散分析結果から, 代表的なものを示したものである。図-3 をみると, 総種数につ

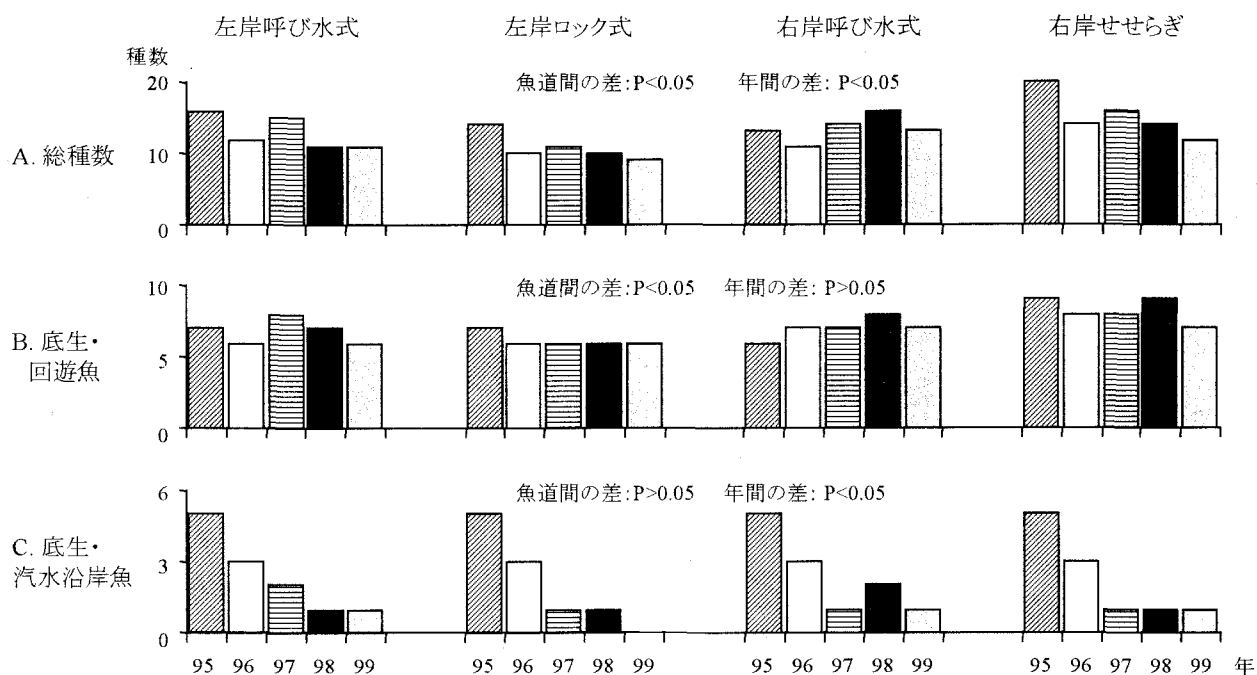


図-3 魚道別年別の種数比較とそれに関する分散分析結果 (Pは有意確率).

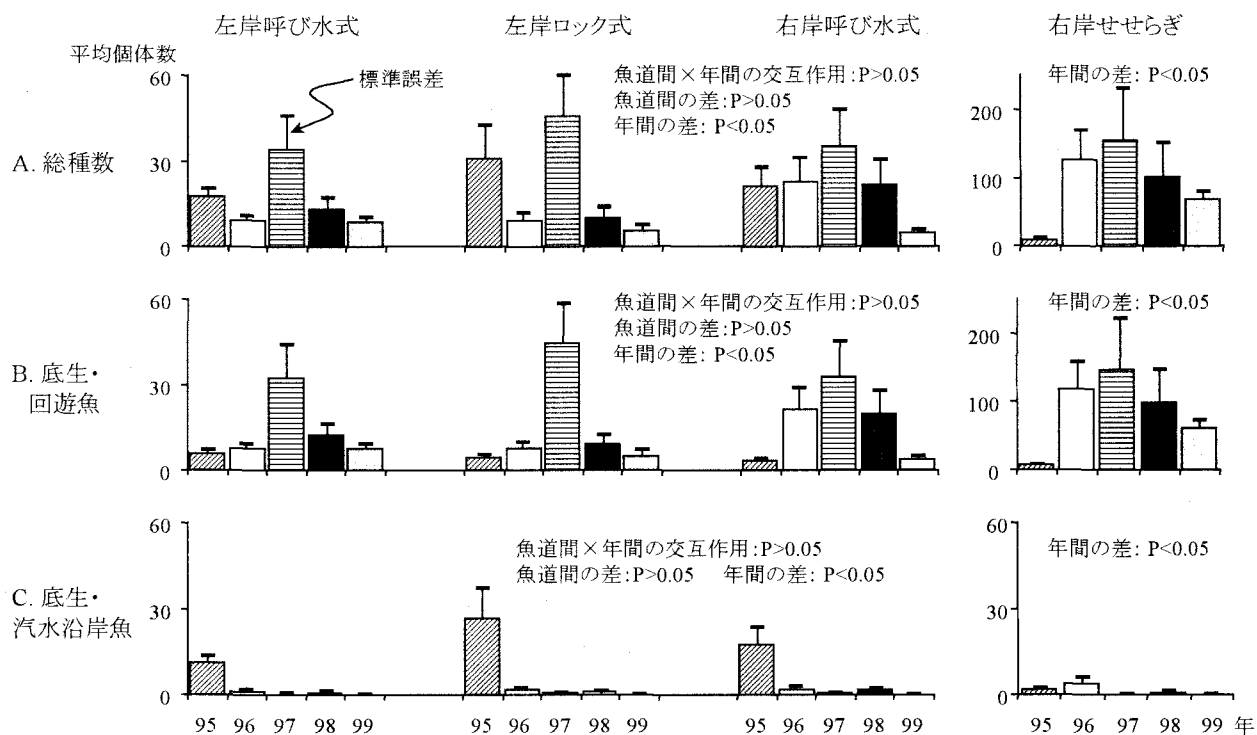


図-4 魚道別年別の平均個体数比較とそれに関する分散分析結果 (Pは有意確率).

いては、魚道間、年間ともに有意な差が認められ、多重比較の結果、せせらぎ魚道と1995年の種数が多いと示された(図-3A)。せせらぎ魚道の種数の多さは、底生の回遊魚の結果に関連し、せせらぎ魚道は他の魚道よりも2魚種程度多く遡上したことが示された(図-3B)。1995年の種数の多さは、底生の汽水沿岸魚における結果から支

持される。図3-Cをみると、すべての魚道において、種数は経年的に減少し、1999年では1種しか確認されていない。この減少の原因は特定できないが、河口堰の建設によって、ハゼ類やカレイ類などの汽水沿岸魚に、何らかの影響が及んだものと推察される。

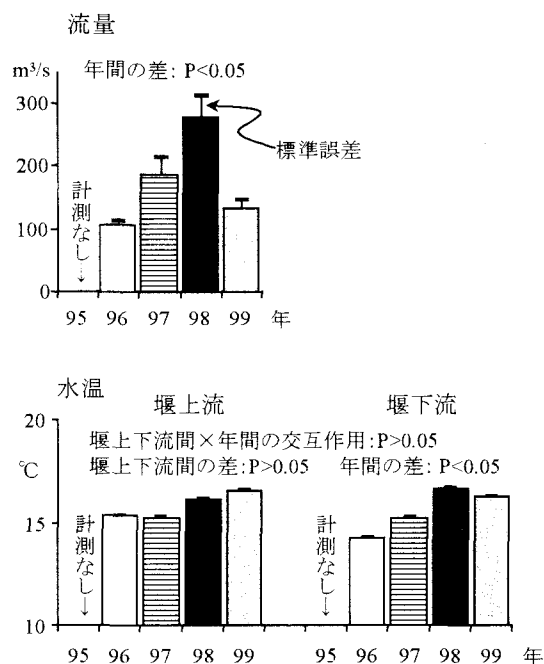


図-5 堰放流量と堰上下流水温の年平均比較と、それに関する分散分析結果 (P は有意確率)。

b) 平均個体数

平均個体数の分析では、すべての魚道種類を因子水準に用いると、魚道と年の効果によって交互作用が有意となり、年間と魚道間の比較ができなくなった。従って、二元配置の分散分析については、せせらぎ魚道を除いて分析を行い、せせらぎ魚道のみ、年を因子とする一元配置の分散分析を行った。

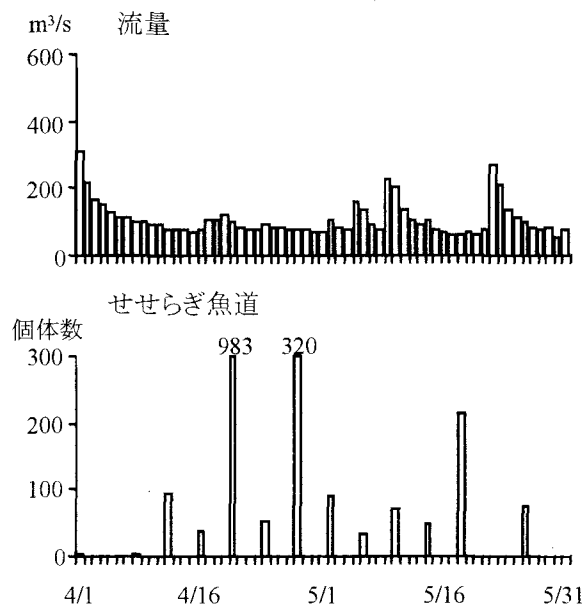
図-4 は、魚種数と同様に (図-3)、平均個体数についての主な分析結果を取り上げたものである。図-4A の総個体数を見ると、二元配置の分散分析を行った魚道 (左岸呼び水式とロック式、右岸呼び水式魚道) では、有意な交互作用と魚道間の差は検出されず、年間のみに有意な差が認められた。このことは、呼び水式とロック式魚道の遡上個体数は同程度であったことを意味する。また、せせらぎ魚道の個体数は他の魚道よりもかなり多く、その数は概ね 4~5 倍程度となった。せせらぎ魚道についても、年間の差は有意となった (図-4A)。

総個体数における年間の差の多重比較によると、すべての魚道で、1997 年の値が有意に高いことが認められた (図-4A)。この現象は底生の回遊魚のうち、カジカの個体数が急激に増えたことに起因する (図-4B)。また、魚種数でも確認できたように、底生の汽水沿岸魚の個体数が 1995 年から減少し、その度合いは呼び水式とロック式魚道において顕著であった (図-4C)。

(3) 流量と水温の関係

図-5 は、各年における河口堰からの放流量と堰上下流水温の年平均を示している。図-5 をみると、流量は年に

A. 1996 年



B. 1997 年

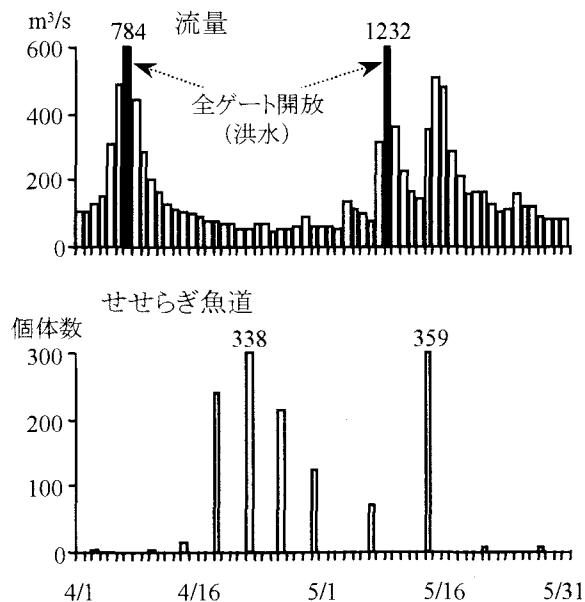


図-6 1996 年と 1997 年における堰放流量の日平均とせせらぎ魚道の調査日別個体数の比較。

よって有意に異なり、1998 年が最大となった。水温は計測場所と年による交互作用はなく、計測場所間における有意差も検出されなかった。水温も流量と同様に、年間の差が有意となり、1998 と 99 年がそれ以前よりも 1°C 程度高かった。

流量と水温は互いに異なる年変動を示している。さらに、両者の変動は各魚道の種数と個体数 (図-3, 4) ととも類似していない (流量については、ピークとなる年が異なっている)。流量と水温の単純な比較だけでは、遡上魚類の変動を説明することができなかった。

(4) 洪水との関係

図-6 は、洪水による遡上魚類への影響をみるために、遡上数の多かったせせらぎ魚道の調査日別個体数と日平均流量の時系列を示したものである。ここでは、洪水のなかった1996年と洪水のあった1997年を取り上げた。

図-6A をみると、洪水のない1996年には4月中旬～5月中旬にかけて、多くの個体が魚道を遡上している。時々、その個体数にはピークがみられるが、これは主としてカジカの遡上を意味している。一方、1997年には4月7日に最大840m³/s、5月9日に最大2,200m³/sの洪水があった(洪水時の魚道操作については、上記2.材料及び方法に記載)。魚道の遡上個体数をみると、1996年と同様に、4月中旬～5月中旬にかけて、個体数が多くなると共に、洪水後しばらくすると、個体数にはピークが生じている(図-6B)。また、図には示していないが、1998年には3回の洪水があるものの、遡上個体数の傾向は図-6のものと類似していた。

すなわち、流量と個体数を比較する限り、洪水にともなう短期間の極めて大きい流量変動は、魚類の遡上期やそのパターン(ピークをもつこと)にまで影響を及ぼすような制限要因にならないと推察される。

4. まとめ

本論文の結論は、以下の通りである。

- 1) 長良川河口堰魚道の遡上魚類群集に関するモニタリングデータを解析した結果、せせらぎ魚道は他の魚道よりも、多くの魚類に利用され、魚類全般に有効であることを統計的に示した。
- 2) 魚道を遡上する魚類群集の傾向として、ハゼ類やカレイ類などの底生の汽水沿岸種が、年々、顕著に減少していた。
- 3) 遡上魚類の個体数は年ごとに変動し、1997年の個体数が各魚道においてピークとなった。しかし、その

変動を流量と水温変化からは説明できなかった。

- 4) せせらぎ魚道における遡上個体数と洪水との関係を調べた結果、洪水による短期間の極めて大きい流量変動は、魚類の遡上に影響を及ぼす制限要因にはならないと推察された。

謝辞：水資源開発公団の長良川河口堰管理所には河口堰モニタリングデータを提供していただいた。本稿を取りまとめるにあたり、有益な助言をいただいた農業工学研究所農村環境部生態工学研究室の奥島修二室長、山本勝利博士、竹村武士氏、また、英文の校閲をしていただいたU.S. Geological SurveyのT. J. Waddle博士に深謝する。本研究の一部は、平成13年度科学研究費補助金基盤研究(A)によって行われた。

参考文献

- 1) 建設省中部地方建設局、水資源開発公団中部支社：資料3 魚類等の遡上・降下の状況、平成7～11年度長良川河口堰モニタリング年報、1996～2000。
- 2) 竹門康弘：長良川河口堰の建設と運用が小卵カジカ(*Cottus* sp.)ならびにアユカケ(*Cottus kazika*)に及ぼした影響、河口堰の生態系への影響と河口域の保全、日本自然保護協会報告書、No.87, pp.79-89, 2000。
- 3) 竹門康弘：長良川河口堰におけるモクズガニ *Eriocheir japonica* (de Haan)の遡上量分析に基づく魚道の評価、応用生態工学, Vol.3, pp.153-168, 2000。
- 4) 新村安雄：長良川河口堰の呼び水式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, Vol.3, pp.169-178, 2000。
- 5) 中村 稔：長良川河口堰の魚道。河川7月号, pp.65-70, 1993。

(2002. 4. 15 受付)