

# アユの遡上を誘発および阻害する環境因子の抽出と各環境因子間の関係

ENVIRONMENTAL FACTOR THAT MIGRATION OF AYU IS PROMOTED AND OBSTRUCTED

永矢貴之<sup>1</sup>・白石芳樹<sup>2</sup>・釜瀬明日香<sup>2</sup>・鬼束幸樹<sup>3</sup>・東野誠<sup>4</sup>・  
高見徹<sup>4</sup>・東均<sup>5</sup>・秋山壽一郎<sup>6</sup>・小野篤志<sup>7</sup>

Takayuki NAGAYA, Yoshiki SHIRAISHI, Asuka UKESE, Kouki ONITSUKA, Makoto HIGASHINO,  
Tohru TAKAMI, Hitoshi HIGASHI, Juichiro AKIYAMA and Atsushi ONO

<sup>1</sup> (株) 建設技術研究所 九州支社 河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)  
九州工業大学大学院 工学研究科 建設社会工学専攻博士後期課程

<sup>2</sup> (株) 建設技術研究所 九州支社 河川部 (〒810-0041 福岡市中央区大名2-4-12)

<sup>3</sup>九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系  
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

<sup>4</sup>大分工業高等専門学校准教授 都市システム工学科 (〒870-0152 大分県大分市大字牧1666)

<sup>5</sup>国土交通省九州地方整備局 延岡河川国道事務所所長 (〒882-0803 宮崎県延岡市大貫町1-2889)

<sup>6</sup>九州工業大学大学院教授 工学研究院建設社会工学研究系 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

<sup>7</sup>九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

\* E-mail: [nagaya@ctie.co.jp](mailto:nagaya@ctie.co.jp)

The ayu, *Plecoglossus altivelis altivelis*, migrates from the sea to the river in spring. Horita investigated on the water temperature of Mikawa Bay and Umedagawa River and pointed out that the reason why the ayu migrates is coincidence of water temperatures in the river and sea. Wada pointed out that the water level at the sea greatly affects on the migration number. However, a collective view has not been obtained. In this study, the water level at upstream and downstream of the estuary barrage, water temperature, DO, COD, electric conductivity and turbidity when the ayu migrates and those when the ayu does not migrate were compared. The ayu wants to migrate when discharge of Guide-flow Fishway, time variation of downstream water level and water temperature are high. On the other hand, the ayu does not want to migrate when the turbidity and COD are high. If the discharge of Guide-flow fishway is large, sometimes difference of water level is high. If time variation of downstream water level is high, time variation of electric conductivity becomes high. Besides, if turbidity is high, electric conductivity becomes high.

**Key Words :** ayu, migration, environmental factor, Nagaragawa Estuary Barrage

## 1. はじめに

アユは我が国の内水面において多くの漁獲高を誇り、市場価値も高い魚種である。アユを対象とする漁業者や遊漁者からは、アユの生息数の増大が望まれている。そのため、種苗放流が行われ、漁獲量の維持および向上の努力が注がれている。しかし、アユの資源量は減少傾向を示している<sup>1)</sup>。アユの生息数を増大させるには、種苗放流を行うだけでなく、アユの生活史全般における生息

環境の保全が必要である。

アユは一年を通じて、河川と海洋とを行き来する通し回遊魚である。冬から春の期間に海洋で生活していたアユは、春頃に群れて河川への遡上を開始する。その後、あるものは単独で行動を開始してなわばりを設け、またあるものは集団で行動する。両者とも附着藻類を主食とする。秋頃に成熟したアユは出水の度に降下し、下流域の瀬で産卵を行う<sup>2)</sup>。以上のアユの生活史において、その生態を決定づける原因が未解明のことが多い。例えば、アユが遡上を開始する条件がその一つである。

堀田<sup>3)</sup>および楠田<sup>4)</sup>は海水温と河川水温がほぼ同一になる時にアユの遡上を開始すると指摘した。新村<sup>5)</sup>および和田<sup>6)</sup>は河川流量増加時に遡上量が増加すると指摘した。和田<sup>6)</sup>は低潮時よりも満潮時の方が遡上数が多くなると指摘した。笹ら<sup>7)</sup>および佐藤ら<sup>8)</sup>は上げ潮時に遡上量が増加すると指摘した。以上のようにアユの遡上と環境因子との関係を調べた研究は存在するが、これらの全ての研究において単一の環境因子を説明変数として選んでいる。ところが、水位と流量の関係に見られるように、各環境因子間に相関関係が存在する場合が少なくない。このような場合、単一の環境因子を説明変数として選ぶことは適切ではない。なぜなら、アユの遡上と高い相関が得られたとしても、それが真の因子であるか、あるいは別の因子が真の因子にも関わらず、因子間の相関が高いため、見かけ上相関が高くなっている可能性を否定できないからである。

一方で、既往の研究ではアユの遡上を誘発する因子については検討がなされているものの、アユの遡上を阻害する因子については全くと言っていいほど検討がなされていない。仮にアユの遡上を誘発する環境状態が整ったとしても、アユの遡上を阻害する環境因子が存在する場合、必ずしも遡上を開始するとは限らないと推測される。したがって、アユの遡上を阻害する環境因子の解明も重要と考えられる。

本研究は、アユの遡上を誘発および阻害する環境因子を抽出し、各環境因子の相互関係の解明を試みたものである。

## 2. 対象データおよびデータ整理方法

### (1) アユの遡上量調査方法および水理水質調査方法

長良川では、1995年に河口から5.4kmの位置に河口堰が竣工されて以来、現在に至るまでアユの遡上調査が行われている。そのデータは我が国のアユの遡上データの中で最も緻密と考えられる。そのため本研究では長良川におけるアユの遡上調査結果を対象データとした。

図-1はアユの遡上量および放流量のデータが観測されている長良川河口堰の位置および水理量・水質が観測されている伊勢大橋(河口堰より上流0.4km)、揖斐長良大橋(河口堰より下流3.0km)の位置を示した概略図である。図-2は長良川河口堰に設置されている魚道の配置を示した概略図である。長良川河口堰の右岸にはせせらぎ魚道(Brook-type Fishway)、呼び水式魚道(Guide-flow Fishway)、ロック式魚道(Fish rock)が、左岸には呼び水式魚道、ロック式魚道が設置されている。

1995年～2000年の期間は、せせらぎ魚道および両岸のそれぞれの呼び水式魚道において、目視による遡上量調査が行われていた。2000年から現在までは左岸呼び水式魚道の陸側と川側において、毎日交互に日の出から日の

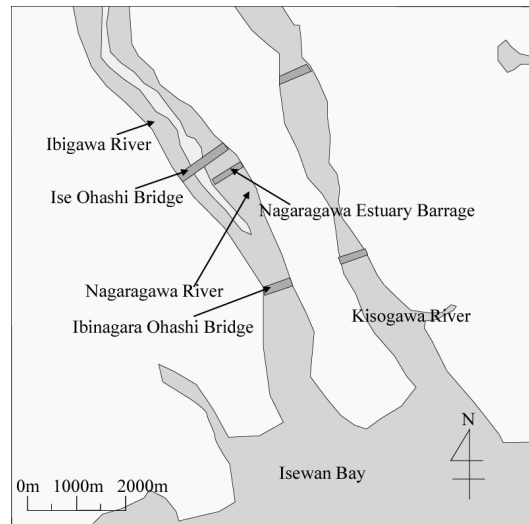


図-1 長良川河口堰の周辺の概略図

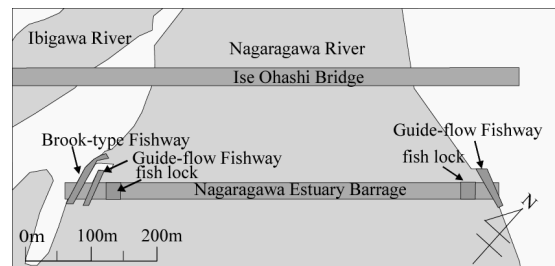


図-2 長良川河口堰に設置されている各魚道の位置

入りまでの間、遡上の様子がビデオ録画されている。録画後、画像解析によって10分毎のアユの遡上量が算出される。アユは日中しか遡上しないことが知られているため<sup>9)</sup>、日中の遡上データのみを用いて解析することに問題はないと考えられる。水資源機構長良川河口堰管理所より、2003年～2006年の左岸呼び水式魚道におけるアユの遡上量のデータを提供いただいた。2003年～2006年の全ての年において、2月から6月までの期間に遡上が観測されているが、データの欠損が点在している。そのため、最も連続したデータが得られている2003年の4月～5月の期間を解析対象とした。

アユの遡上を誘発あるいは阻害する環境因子が未知な段階で、説明変数を選出することは出来ない。本来、水理量、水質、地形、気象条件、日照条件などあらゆる環境因子を説明変数として選択し、アユの遡上あるいは阻害状況との関係を解析した結果、真の説明変数が抽出されるという手順を経ることが適切である。しかし、上記のすべてのデータを収集することは極めて困難である。そのため、本研究では国土交通省のHPで公開されている水文水質データベースに掲載されている伊勢大橋・揖斐長良大橋で得られた全ての水理量および水質を説明変数として選択した。その結果、水温、潮位、堰上流水位、堰下流水位、総流量、左岸魚道流量、右岸魚道流量/堰放流量、DO、COD、pH、濁度(turbidity)、塩化物イオン濃度(CL)、導電率(electric conductivity)を対象とした。

小出水<sup>10)</sup>は水位上昇率が遡上量の決定因子1つであると述べた。したがって、水質・水理量の絶対値のみならず、その変化率も説明変数に含むことが適切と考えられる。一方、水質・水理量の河口堰を隔てた上下流差も遡上量を決定する可能性がある。たとえば、堀田<sup>3)</sup>および楠田<sup>4)</sup>は海水温と河川水温がほぼ同一になる時にアユの遡上を開始すると指摘した。そこで、対象データより得られた各水質・水理量の変化率および上流の値から下流の値を引いた上下流差を説明変数に加えた。その結果、説明変数は表-1に示す40個となった。表中には後の図で用いる略語を示している。

以上示した40個の説明変数には、既往の研究でアユの遡上を誘発する環境因子として挙げられている水温<sup>3) - 5)</sup>、潮位<sup>5) - 8), 10)</sup>、堰からの放流量<sup>6), 7), 10)</sup>、堰下流水位<sup>6), 7), 10)</sup>および水位上昇率<sup>10)</sup>の全てが網羅されている。

### (2) データ整理手法

左岸呼び水式魚道で得られた10分毎のアユの遡上量時系列の模式図を図-3に示す。遡上を継続している時間(migration time)と遡上していない時間(duration time of non migration)が交互に発生し、それらの継続時間の多くは10分間以上である。また、遡上が継続している時系列において、遡上量のピーク値が得られる。この値を「遡上ピーク値」、遡上ピーク値が発生する時間を「遡上ピーク時間」と呼ぶ。対象期間における遡上ピーク値を昇順に並べ替え、上位30個のデータを選出した。

一方、アユが遡上しない状況に順位をつける場合、遡上量は常にゼロのために利用できない。そこで、日の出から日の入りまでの間で、アユが遡上をしていない継続時間を採用した。この時間を「非遡上継続時間」と呼ぶ。対象期間における非遡上継続時間を昇順に並べ替え、上位30個ずつのデータを選出した。以下では、前者の30個のデータを「ベスト30」、後者の30個のデータを「ワースト30」と呼称する。また、水理量・水質は両者の状態のときに計測されたデータを用いる。

### (3) データ解析手法

目的変数と説明変数との関係を定量的に求める場合、重回帰分析がしばしば用いられる。しかし、説明変数間に相関が存在する場合、多重共線性の疑いが高くなり、得られた結果の信憑性が低くなる場合がある。一方、主成分回帰分析は多重共線性の疑いがあるデータも処理できる手法である。

主成分回帰分析は主成分分析と重回帰分析の2つのステップによって構成される。まず、各因子を主成分分析することで各主成分の主成分得点が得られる。ここで各主成分は独立となる。そのため、各主成分を説明変数として重回帰分析を行っても、多重共線性を有さない。

続いて、各主成分の主成分得点を説明変数として重回帰分析を行うが、通常は全ての主成分を用いず、第1成

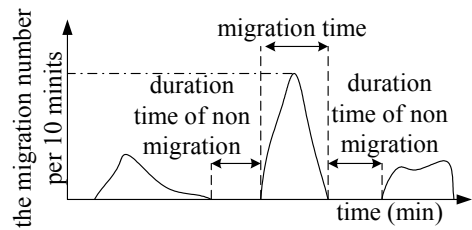


図-3 遡上量時系列の模式図

表-1 各環境因子の表記記号

パラメータ	略語	パラメータ	略語
上流水温	UWT	上下流COD差	D-COD
上流水位	UWL	上下流塩化物イオン濃度差	D-CL <sup>-</sup>
上流pH	UpH	上下流導電率差	D-EC
上流DO	UDO	上流水温上昇率	V-UWT
上流COD	UCOD	上流水位上昇率	V-UWL
上流導電率	UEC	上流pH上昇率	V-UpH
下流塩化物イオン濃度	DCL <sup>-</sup>	上流DO上昇率	V-UDO
上流濁度	UTRI	上流COD上昇率	V-UCOD
下流水温	DWT	上流塩化物イオン濃度上昇率	V-UCL <sup>-</sup>
下流水位	DWL	上流導電率上昇率	V-UEC
下流DO	DDO	上流濁度上昇率	V-UTRI
下流COD	DCOD	下流水温上昇率	V-DWT
下流導電率	DEC	下流水位上昇率	V-DWL
下流塩化物イオン濃度	D-CL <sup>-</sup>	下流DO上昇率	V-DDO
総流量	TD	下流COD上昇率	V-DCOD
左岸呼び水魚道流量	DLG	下流導電率上昇率	V-DEC
左岸/総流量	DLG/TD	下流塩化物イオン濃度上昇率	V-DCL <sup>-</sup>
上下流水温差	W-WT	左岸魚道流量上昇率	V-DLG
上下流水位差	D-WL	総流量上昇率	V-TD
上下流DO差	D-DO	左岸/総流量上昇率	V-DLG/TD

表-2(a) ベスト50における寄与率および累積寄与率

	寄与率	累積寄与率
第1主成分	0.259	0.259
第2主成分	0.153	0.412
第3主成分	0.118	0.530
第4主成分	0.089	0.619
第5主成分	0.062	0.681
第6主成分	0.049	0.730
第7主成分	0.038	0.768
第8主成分	0.035	0.803
第9主成分	0.032	0.835
第10主成分	0.028	0.863

表-2(b) ワースト50における寄与率および累積寄与率

	寄与率	累積寄与率
第1主成分	0.195	0.195
第2主成分	0.173	0.368
第3主成分	0.110	0.478
第4主成分	0.102	0.580
第5主成分	0.100	0.680
第6主成分	0.070	0.750
第7主成分	0.048	0.798
第8主成分	0.039	0.836
第9主成分	0.030	0.866
第10主成分	0.025	0.891

分から順に寄与率を加算した累積寄与率が0.8程度となる主成分までを用いる。説明変数の最適な組み合わせを選ぶ方法として、強制投入法、変数増加法、変数減少法および変数増減法(ステップワイズ法)が挙げられるが、変数増減法を用いることが標準となっている。また、重回帰式の有意性を検定することも必要である。通常F検定が用いられる。

### 3. 解析結果および考察

#### (1) アユの遡上に影響を与える環境因子の抽出

##### (a) 主成分分析

ベスト30およびワースト30において、表-1に示した40個の諸量を用いて、それぞれ主成分分析を行った。表-2(a)および表-2(b)にベスト30およびワースト30における第1主成分から第10主成分までの寄与率および累積寄与率をそれぞれ示した。ベスト30およびワースト30において累積寄与率が0.8以上となるのは、共に第1主成分～第8主成分までとなった。

##### (b) 回帰分析

ベスト30およびワースト30において、目的変数をそれぞれ遡上量ピーク値および非遡上継続時間とし、説明変数を共に第1主成分から第8主成分までの主成分得点として変数増減法を用いて重回帰分析を行った。その結果、ベスト30では第1主成分～第4主成分が、ワースト30では第6主成分が採用された。

表-3(a)および表-3(b)にベスト30およびワースト30における標準偏回帰係数、偏相関係数およびF検定によって得られたF値を示す。F検定値としては標準的な $F_{in} = F_{out} = 2.0$ を設定した。表-3(a)および表-3(b)より、対象とした3つの各主成分におけるF値は2よりも大きいため、これらの主成分の標準偏回帰係数は有意と判断された。以上のことから、遡上量の説明変数としてはベスト30における第1主成分～第4主成分が、非遡上継続時間の説明変数としてはワースト30の第6主成分が採用されることが決定した。

表-4(a)および表-4(b)に各主成分の固有ベクトルの積和によって求められる標準偏回帰係数(RPC: Regression on principle components)の絶対値およびRPCの絶対値の順位を上位20位までについて示す。RPCの絶対値が大きいほど目的変数への影響が大きく、逆にRPCの絶対値が小さいほど目的変数への影響は小さい。どのレベルの説明変数までを採用するかは目的とする精度に応じて判断すればよいが、ここでは、RPCの絶対値が上位10までの環境因子を採用する。

#### (2) アユの遡上に影響を及ぼす因子間の関係

表-4(a)および表-4(b)においてアユの遡上を誘発あるいは阻害する因子が抽出され、その影響順位が明確となった。しかし、各因子間には相関関係が存在すると推測される。ここでは見かけ上の因子を極力排除し、真の因子を抽出することを試みる。

##### (a) ベスト30における因子間の相関関係

表-5にベスト30において抽出した因子間の相関係数を

表-3(a) ベスト50における主成分回帰分析の結果

	標準回帰係数	偏相関係数	F値
第1主成分	-0.261	-0.306	2.591
第2主成分	0.345	0.391	4.523
第3主成分	0.273	0.320	2.843
第4主成分	-0.286	-0.333	3.121

表-3(b) ワースト50における主成分回帰分析の結果

	標準回帰係数	偏相関係数	F値
第6主成分	0.523	0.523	10.538

表-4(a) ベスト30における環境因子のRPC

パラメータ	RPC	順位
左岸魚道流量	0.185	1
下流水位上昇率	0.163	2
上下流水位差	0.144	3
下流水温	0.129	4
上流導電率上昇率	-0.129	5
下流導電率上昇率	0.122	6
下流塩化物イオン濃度上昇率	0.120	7
上流水温	0.120	8
下流水位	-0.107	9
上流水温上昇率	0.106	10
左岸魚道流量/総流量上昇率	-0.104	11
上流濁度	-0.104	12
上流水位	0.104	13
左岸魚道流量/総流量	0.103	14
上下流塩化物イオン濃度差	0.102	15
下流塩化物イオン濃度	-0.102	16
上下流導電率差	0.101	17
下流導電率	-0.101	18
下流DO上昇率	-0.099	19
上流塩化物イオン濃度上昇率	-0.091	20

表-4(b) ワースト30における環境因子のRPC

パラメータ	RPC	順位
上流濁度	0.265	1
上下流水温差	-0.218	2
上下流COD差	0.154	3
上流水位	-0.151	4
上流導電率	-0.145	5
上流COD	0.125	6
下流水位	-0.104	7
上流塩化物イオン濃度	-0.098	8
左岸魚道流量/総流量	-0.082	9
上流COD上昇率	-0.075	10
下流COD上昇率	-0.070	11
下流水位上昇率	0.068	12
上下流水位差	0.067	13
上流水温	-0.065	14
上下流DO差	0.058	15
総流量上昇率	-0.056	16
左岸魚道流量上昇率	-0.056	17
上流DO	0.053	18
下流水温	-0.040	19
下流COD	0.037	20

示す。有効数字の関係で表中の表示では相関係数がゼロとなっているものがあるが、全ての因子間の相関係数はゼロ以上の値を示した。したがって、全ての因子間の相互関係について解明すべきであるが、極めて困難である。そこで、相関係数が0.4以上の相互関係についてのみ着目する。表中にグレーで示したセルは相関係数が0.4以上を示す。

左岸魚道流量(DLG)と上下流水位差(D-WL)(=上流水位-下流水位)の相関係数は0.515であり、これは水位差が増加すると左岸魚道流量が増加することを示している。上

表-5 ベスト30における因子間の相関行列

	UWT	DWT	DWL	DLG	D-WL	V-UWT	V-UEC	V-DEC	V-DCL	V-DWL
UWT	1.000									
DWT	0.990	1.000								
DWL	0.119	0.134	1.000							
DLG	0.101	0.103	-0.464	1.000						
D-WL	0.039	0.018	-0.866	0.515	1.000					
V-UWT	0.004	0.006	-0.032	0.013	0.028	1.000				
V-UEC	0.000	0.000	-0.003	-0.021	0.001	-0.576	1.000			
V-DEC	-0.001	0.004	0.225	-0.050	-0.207	0.171	0.138	1.000		
V-DCL	-0.003	0.003	0.218	-0.052	-0.203	0.161	0.131	0.999	1.000	
V-DWL	0.013	0.014	-0.002	0.052	0.014	0.011	-0.023	0.438	0.430	1.000

下流水位差(D-WL)が大きくなると同時に下流水位(DWL)の減少がみられる( $r=-0.866$ )。

下流水位上昇率(V-DWL)と下流塩化物イオン濃度上昇率(V-DCL)の相関係数は0.430となっており、上げ潮時に塩化物イオン濃度が上昇することがわかる。また、下流塩化物イオン上昇率にほぼ比例し、下流導電率も上昇する( $r=0.999$ )。

以上の考察より判明した因子間の相関関係を図-4に示す。図-4内の数値は相関係数である。下流水位(DWL)が低下すると上下流水位差(D-WL)が大きくなる。上下流水位差(D-WL)が大きくなると、左岸呼び水式魚道流量(DLG)が増加傾向にある。また、下流水位上昇率(V-DWL)が増加すると、上げ潮効果により塩化物イオン濃度上昇率(V-DCL)が増加する傾向にある。下流塩化物イオン上昇率(V-DCL)の上昇に伴い下流導電率上昇率(V-DEC)が増加することが判明した。

(b) ワースト30における因子同士の相関関係

表-5にワースト30において抽出した因子間の相関係数を示すと共にし、相関係数が0.4以上はグレーで示した。堰総流量(TD)と上流水位(UWL)は負の相関関係を示している( $r=-0.702$ )。これは堰放流量が増加すると、それに伴い堰の0.4km上流の水位が低下することを意味する。

上流水位(UWL)と上流濁度(UTRI)は負の相関係数を示している( $r=-0.524$ )。上流水位の低下時、すなわち総流量の増加時に上流濁度が大きくなることを意味する。一方、表-6より上流濁度(UTRI)の上昇に伴い、上流導電率(UEC)が減少していることが理解される( $r=-0.516$ )。これは、河川における懸濁物質の主成分は一般的にプランクトンなどの有機物や土壌物質であるため、濁度が上昇すると電気抵抗が大きくなったと考えられる。また、上流塩化物イオン濃度(UCL)が増加すると上流導電率(UEC)の上昇がみられる( $r=0.851$ )。

また表-6より、上流COD(UCOD)と上下流COD差(D-COD)(=上流COD-下流COD)は正の相関関係にあることがわかった( $r=0.659$ )。

上記以外の因子間の関係に関して、左岸呼び水式魚道/総流量(DLG/TD)と上流導電率(UEC)、上流塩化物イオン濃度(UCL)との関係(それぞれ $r=0.509, 0.492$ )および上流塩化物イオン濃度(UCL)と上下流COD差( $r=0.417$ )との関係が相関係数0.4以上を示したが、これらの相関関係の原因は不明であった。

表-6 ワースト30における因子間の相関行列

	UEC	UTRI	UCOD	UCL	UWL	DWL	DLG/TD	D-WT	D-COD	V-UCOD
UEC	1.000									
UTRI	-0.516	1.000								
UCOD	0.323	0.379	1.000							
UCL	0.851	-0.358	0.417	1.000						
UWL	0.381	-0.524	-0.344	0.318	1.000					
DWL	0.125	-0.090	0.013	0.091	0.144	1.000				
DLG/TD	0.509	-0.118	0.352	0.492	0.255	0.002	1.000			
D-WT	0.287	-0.171	0.014	0.318	0.097	-0.111	0.056	1.000		
D-COD	0.329	0.070	0.659	0.390	0.042	0.001	0.177	0.176	1.000	
V-UCOD	0.043	-0.016	0.007	0.043	-0.006	-0.016	0.014	0.017	0.024	1.000

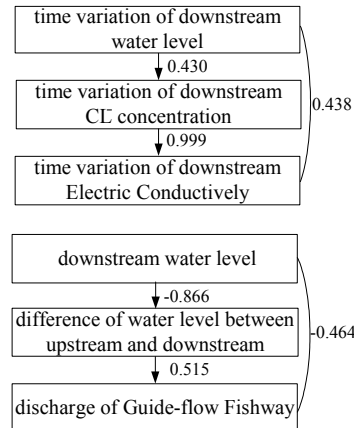


図-4 ベスト30における因子同士の関係

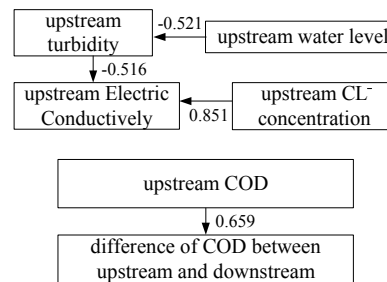


図-5 ワースト30における因子同士の関係

これまでに判明した因子間の相関関係を図-5に示す。図中の数値は相関係数を示す。上流水位が低下すると上流濁度が上昇する。上流濁度が上昇すると上流導電率が低下する。さらに、上流CODが増加すると上下流COD差が大きくなることを判明した。

(3) 既往の研究との関連性

(a) アユの遡上を誘発する環境因子

アユの遡上を誘発する環境因子は既に表-4(a)に示した。順位1 左岸呼び水魚道流量のRPCは0.185の正值となっている。これは、左岸呼び水魚道流量が多いと呼び水効果が高くなり、アユの遡上を促進することを示すと考えられる。

順位2の下流水位上昇率のRPCは0.163の正值となっている。これは、笹ら<sup>7)</sup>および佐藤ら<sup>8)</sup>が指摘しているように、上げ潮によってアユが魚道入口に接近しやすくなり、遡上が容易になるためであると考えられる。

順位4, 8の堰上下流の水温のRPCは共に正值であり、水温が上昇すると遡上が容易になることがわかる。アユは変温動物であるため、低水温の状態ではアユの活性度が低下し、遡上が困難になると考えられる。そのため、水温が高くなると遡上しやすくなるものと考えられる。

上下流水位差のRPCは正、下流水位のRPCは負となっている。上下流水位差が大きくなる場合、すなわち、上流水位が高くなり下流水位が低くなる時に、左岸呼び水式魚道流量が増加する傾向がある。また、下流水位上昇率が高い上げ潮時には、下流塩化物イオン濃度が上昇し、それに伴い下流導電率が上昇する。上流導電率上昇率と遡上との関係は不明であった。

#### (b) アユの遡上を阻害する環境要因

続いて、表-4(b)のRPCに着目しアユの遡上を阻害する環境要因を検討する。順位1の上流濁度のRPCは0.265の正值となっており、このパラメータの増加に伴い非遡上時間が増加していることがわかる。これは、アユは濁水を嫌うためと考えられる。濁度の上昇に伴い、導電率が低下傾向にある。また、塩化物イオン濃度が上昇するときに導電率が上昇傾向にある。順位2の上下流水温差のRPCは-0.218の負値となっている。上流水温が下流水温よりも低い場合、アユが低水温である上流側へ遡上することを避ける傾向にある。順位3および順位6で示している上下流COD差および上流CODのRPCはそれぞれ0.154, 0.125と正となっており、これらの因子の値が高くなると遡上が困難となることがわかる。これらはアユに汚水を嫌う習性があるためと考えられる。

#### 4. おわりに

本研究は長良川河口堰で得られたアユの遡上データに基づき、アユの遡上を誘発あるいは阻害する環境因子を主成分回帰分析に基づいて抽出したものである。

現在入手可能な環境因子の候補である水温、潮位、堰上流水位、堰下流水位、総流量、左岸魚道流量、左岸魚道流量/堰放流量、DO、COD、pH、濁度、塩化物イオン濃度、導電率およびこれらの変化率および上下流差の合計40個の因子をアユのピーク遡上量および非遡上継続時間の説明変数として主成分回帰分析を行った。その結果、ベスト30において左岸魚道流量、水温、水位、導電率、塩化物イオン濃度が、ワースト30においては、導電率、濁度、COD、水位、塩化物イオン濃度がそれぞれ環境因子として採用された。

続いて、各因子間の関係を調査し、見かけ上の因子と真の因子の抽出を試みた。

以上の結果を図-6および図-7に示した。図中の数値はRPCを示している。今回得られたアユの遡上を誘発する環境因子の一部は既往の研究でも指摘されていた。しか

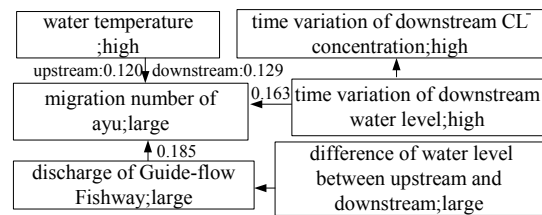


図-6 遡上が容易な状態におけるフローチャート

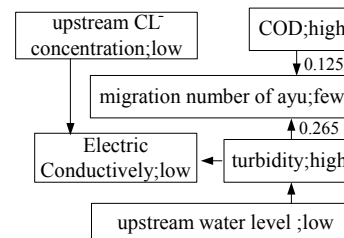


図-7 遡上が困難な状態におけるフローチャート

し、既往の研究ではアユの遡上量と単一の環境因子との関係を求めているため、真の環境因子を抽出している保証はなかった。本研究では環境因子間に多重共線性のある場合でも使用可能な主成分回帰分析を用いたため、本研究で得られた環境因子は真の環境因子と判断できる。既往の研究結果と一致した理由は、左岸魚道流量、下流水位上昇率、濁度、CODなどの環境因子のRPCの絶対値が大きいことから、これらがアユの遡上に対して支配的な影響があったためと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 中村智幸, 糟谷浩一 : Nippon Suisan Gakkaishi, 70(3), pp.288-296, 2004.
- 2) 栄研二, 海野徹也, 中川平介, 荒井克俊 : 日本水産学会誌, 第62巻, 1号, pp.46-50, 1996.
- 3) 堀田秀之 : 魚類雑誌, Vol.3, pp.15-20, 1953.
- 4) 楠田理一 : 日本水産学会誌, 第29巻, 9号, pp.822-827, 1963.
- 5) 和田吉弘 : ダム技術, No.39, pp.34-42, 1990.
- 6) 新村安雄 : 応用生態工学会, Vol.3, No.2, pp.169-178, 2000.
- 7) 笹浩司, 後藤浩一, 実松利朗, 島田啓一, 井口謙, 和田清 : 河川技術論文集, 第11巻, pp.453-458, 2005.
- 8) 佐藤隆平, 菅原政一, 大塚勝章, 安藤淳一 : 水産工学, Vol.29, No.2, pp.123-126, 1992.
- 9) 相澤康, 安藤隆, 勝呂尚之, 中田尚宏 : 水産増殖, 第47号, 3巻, pp.355-361, 1999.
- 10) 小出水規行 : 河川技術論文集, 第8巻, pp.331-336, 2002.