

アユの生息に適した河川環境の統計的解明

鬼束幸樹¹・永矢貴之²・白石芳樹²・東野誠³・高見徹³・的場眞二⁴
秋山壽一郎⁵・尾関弘明⁶・中川由美子⁷

¹正会員 九州工業大学准教授 工学部建設社会工科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)
onitsuka@civil.kyutech.ac.jp

²正会員 (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)

³正会員 大分工業高等専門学校准教授 都市システム工学科 (〒870-0152 大分市大字牧1666)

⁴正会員 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 延岡市大貫町1-2889)

⁵フェロー会員 Ph. D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科

⁶非会員 株式会社トヨタプロダクションエンジニアリング (〒810-0073 福岡市中央舞鶴3-2-1)

⁷非会員 みやこ町役場 (〒824-0821 福岡県京都郡みやこ町勝山上田960)

アユは日本の内水面漁業において経済的価値の高い魚の1つである。そのアユの漁獲高は近年減少傾向にある。しかし、その明確な原因が解明されていないのが現状である。そこで、アユが豊かに生息する河川を構成する要因についての考察を行った。本研究は、全国の42の一級河川の流域面積、幹川流路延長、平水流量、DO、pH、SS、COD、BOD、大腸菌群数、豊水流量と平水流量の比などのデータを用いてクラスター分析および主成分回帰分析を用いて、アユの生息適性を支配する因子の抽出を試みたものである。その結果、アユの漁獲高の予測式を提案し、さらに、アユの生息限界がBOD=3mg/L、SS=14mg/Lであることを推定した。

Key Words : ayu, parameter, cluster analysis, multiple regression, principal component analysis

1. はじめに

アユは内水面においてサケに並ぶ高い経済価値がある。また、アユ独自のなわばり特性を生かした友釣り、釣り人にとってはこの上ない娯楽である。アユは我が国以外に中国大陸の一部および朝鮮半島に生息しているが、上記のようなアユの利用方法は我が国固有の文化である。そのアユの漁獲高は1990年以降減少傾向にあり、ピーク時の約50%に低下しつつある¹⁾。この原因として河床の平坦化^{2,3)}、魚道の未整備⁴⁾、河川工事による濁水の発生⁵⁾、冷水病^{6,7)}など様々な要因が叫ばれているが、明確な理由が得られていないのが現状である。

アユの生息数が減少しているという事実が明白でありながらそれを支配する因子が不明な場合、統計解析手法を用いることが有効である。アユを対象とした研究ではないが、植村ら⁸⁾は数値化課題によってゲンジボタルの生息条件を求めた。砂田・川村⁹⁾はSimpson多様度指数を用いて、また、早川ら¹⁰⁾は重回帰分析およびHIM (Habitat index of Morishita)を用いて生息環境評価を行った。こうした統計解析手法はアユの生息適性を支配する因子の抽出に有効と考えられる。

本研究では、全国の一級河川における水理、水質、地

勢データを収集し、クラスター分析および主成分回帰分析¹¹⁾を用いてアユの生息適性を支配する因子の抽出を行うと共に、アユの生息しやすい川づくりを行う上で留意すべき点について言及した。

2. 対象データの選定と解析方法

(1) 対象データの選定

アユの生息に影響を与えている因子を抽出するには、アユの生息に影響を与えていると推測される因子候補を極力多く集めて統計解析しなければならない。既往の研究よりアユの生息に影響を与える要因として、河川規模^{12,13)}、流量¹⁴⁾および水質^{15,16)}が挙げられている。そのため、流域面積CA(catchment area)、幹川流路延長LMR(length of main river)、平水流量185Q(185-day discharge)、DO、pH、SS、COD、BODおよび大腸菌群数NCG(number of coliform group)を因子候補として選んだ。なお、アユの生息可能な水質のしきい値を知るには、アユの生息している河川の上下流内で最も水質の悪化している値を用いて解析することが適切である。一般に河川水質は下流方向に悪化していく事が知られている。アユの生息環境については

表-1 対象河川およびその特性

河川名	アユの 漁獲高 (t/year)	平均値 (2001年3月~11月の平均値)						CA (km ²)	LMR (km)	river discharge (m ³ /s)		
		DO (mg/l)	pH	SS (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	NOG (MPN/100ml)			75Q	185Q	75Q/185Q
北上川	53	105	8.0	6.1	2.9	1.4	1538.3	10150	249	314.9	208.8	1.5
最上川	144	98	7.0	33.4	3.4	0.8	10144.2	7040	229	463.7	295.3	1.6
久慈川	334	97	7.5	13.9	2.7	0.7	8955.6	1490	124	166	10.3	1.6
那珂川	534	99	7.9	10.5	2.6	0.9	4761.1	3270	150	79.0	44.0	1.8
渡良瀬川	0	8.4	7.6	25.2	6.1	2.9	19099.0	2621	107	33.5	15.0	2.2
鬼怒川	0	9.2	7.4	21.6	4.3	1.8	73911.1	1760	177	131.7	75.6	1.7
小貝川	0	9.4	7.5	29.8	6.9	2.9	30682.1	1043	112	25.8	15.7	1.6
鶴見川	0	7.6	7.4	9.3	7.6	7.0	36666.7	235	43	13.9	7.3	1.9
富士川	55	9.9	8.1	4.5	1.4	0.6	10155.6	3990	128	74.5	55.9	1.3
荒川	65	10.7	6.9	7.8	2.4	0.6	2671.0	1150	73	141.6	76.5	1.9
阿賀野川	26	10.5	6.9	15.7	2.8	0.7	2778.9	7710	210	443.3	328.8	1.3
千曲川	0	9.3	7.3	21.9	2.2	1.4	765405.6	12006	367	238.2	179.4	1.3
関川	0	10.6	7.4	52.4	4.1	1.5	31866.7	1140	64	67.9	42.9	1.6
天竜川	223	9.9	7.7	10.4	1.6	0.4	907.4	5090	213	200.9	135.1	1.5
矢作川	87	9.0	7.3	9.7	3.9	1.0	12210.0	1830	117	36.5	21.9	1.7
庄内川	0	7.4	7.2	12.3	13.1	3.9	15133.3	1010	96	19.3	13.0	1.5
木曽川	314	9.4	7.3	4.0	2.9	0.7	6673.3	5275	229	185.8	123.7	1.5
揖斐川	131	9.3	7.3	2.4	1.6	0.5	4194.4	1840	121	72.8	44.9	1.6
長良川	363	9.1	7.3	3.4	2.6	0.8	13600.0	1985	166	96.4	69.7	1.4
鈴鹿川	0	9.9	7.4	5.7	3.4	1.0	14755.6	323	38	8.2	4.5	1.8
九頭竜川	317	10.1	7.6	9.3	2.3	0.9	8264.4	2930	116	106.2	64.0	1.7
由良川	61	9.0	7.3	4.0	2.3	0.8	41182.5	1880	146	64.3	37.1	1.7
猪名川	0	6.5	7.3	7.5	11.9	8.8	614221.3	383	43.2	4.5	2.2	2.0
大和川	0	8.2	7.8	20.2	8.6	4.7	116888.9	1070	68	18.1	13.2	1.4
紀ノ川	317	11.1	8.1	6.3	4.8	3.0	8287.8	1660	136	42.5	25.0	1.7
加古川	0	9.9	8.1	11.6	5.6	2.3	22901.1	1730	96	29.2	17.9	1.6
揖保川	400	9.6	7.6	4.9	2.7	1.1	19632.2	810	70	21.8	15.4	1.4
芦田川	0	10.7	9.0	16.7	8.5	5.8	184001.3	870	86	7.6	3.7	2.1
高津川	120	9.4	7.5	1.5	1.5	0.7	2961.5	1080	81	57.3	34.7	1.7
江の川	217	9.3	7.5	2.5	2.4	1.0	3568.1	3870	194	147.0	96.5	1.5
日野川	90	9.9	7.5	7.0	2.8	1.0	1851.8	860	77	7.3	6.1	1.2
千代川	80	9.0	7.4	3.7	1.3	1.0	66846.7	1190	52	63.3	42.9	1.5
吉野川	321	9.2	7.5	2.8	1.5	0.9	3941.1	3750	194	73.9	55.8	1.3
那賀川	74	9.3	7.5	2.4	1.2	0.7	1484.7	874	125	38.2	18.1	2.1
肱川	195	8.7	7.7	3.0	0.9	0.7	1836.3	1210	103	40.2	17.5	2.3
仁淀川	155	9.6	7.6	1.1	1.4	0.6	2340.0	1560	124	59.6	35.8	1.7
遠賀川	0	9.8	8.1	9.7	5.7	2.9	41692.3	1026	61	24.6	14.2	1.7
筑後川	187	9.9	7.7	3.6	3.6	1.76	34633.3	2863	143	80.1	52.0	1.5
大野川	70	9.4	8.1	7.1	2.3	0.6	10923.3	1465	107	47.0	31.5	1.5
五ヶ瀬川	142	8.3	7.1	4.9	1.5	0.69	8302.2	1820	106	45.5	30.7	1.5
球磨川	463	10.4	8.3	3.8	1.6	1.1	9323.3	1880	115	64.6	46.9	1.4
本明川	0	11.4	8.7	5.3	3.3	1.5	31511.1	87	21	1.1	0.8	1.5

次のようである。アユは毎川回帰性のない通し回遊魚であり¹⁷⁾、遡上に際しては海に流入する河川水質に基づき河川を選択すると言われている¹⁸⁾。河川における生息域は山間部を除いた上流域から下流域であるが、産卵期は非干潮域の最も下流に生息する。さらに、産卵後はすぐに河口を通過して海洋まで流下していく。以上のことを考慮し、水質データは各河川の下流に位置する水質観測所のものを対象とした。

一方で、流量変動もアユの生息数を左右する一因との指摘¹⁹⁾もある。近年多くの河川ではダムや堰堤により河川の流量が調整され、流量変動による河川の攪乱が減少している。そのため、統計解析を行う際に河川に設置された横断構造物などをパラメータとして選択しなければならない。しかしながら、そのようなデータを全ての河川で得ることが難しい。そこで、ダムや堰が設置されると流量変動の幅が小さくなることに着目し、豊水流量と

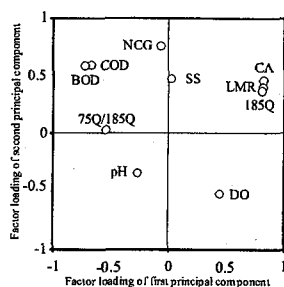


図-1(a) 第1, 2主成分の因子負荷率

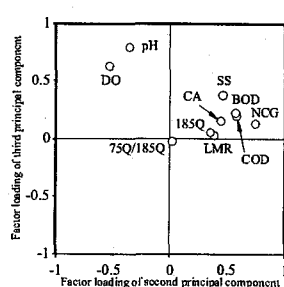


図-1(b) 第2, 3主成分の因子負荷率

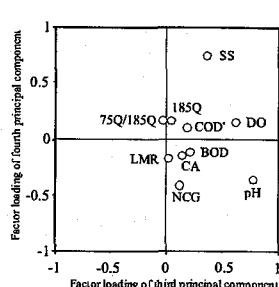


図-1(c) 第3, 4主成分の因子負荷率

表-2 各主成分の寄与率および累積寄与率

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	3.56	0.36	0.36
第2主成分	2.34	0.23	0.59
第3主成分	1.28	0.13	0.72
第4主成分	1.00	0.10	0.82
第5主成分	0.78	0.08	0.89
第6主成分	0.50	0.05	0.95
第7主成分	0.29	0.03	0.97
第8主成分	0.14	0.01	0.99
第9主成分	0.07	0.01	0.99
第10主成分	0.05	0.01	1.00

表-3 主成分回帰分析結果

	回帰係数	標準回帰係数 (RPC)	偏相関係数	P値
第1主成分	21.5	0.273	0.299	0.21
第2主成分	-34.6	-0.357	-0.378	0.02

表-4 各パラメータの標準回帰係数(RPC)と順位

パラメータ	RPC	順位
BOD	-0.239	1
COD	-0.232	2
DO	0.188	3
NCG	-0.183	4
SS	-0.104	5
75Q/185Q	-0.083	6
pH	0.043	7
185Q	0.034	8
LMR	0.028	9
CA	0.015	10

平水流量の比75Q/185Qも因子候補として選んだ。

以上の考察より、アユの生息環境に大きな影響を与える候補として、DO, pH, SS, COD, BOD, NCG, CA, LMR, 75Q, 185Qおよび75Q/185Qが挙げられた。一方、アユの生息環境を定量的に示すものとして、アユの生息数、漁獲高、生息密度、平均体重など様々な項目が考えられる。選ぶ項目によって解析結果および解釈が異なることが想定されるが、今回は最も多くのデータが取得可能なアユの漁獲高を選んだ。109本の一級河川において上述したアユの漁獲高¹⁾、水質データ¹⁹⁾および水理データ²⁰⁾を探索した結果、全のデータが入手できたのは42河川であった。表-1にこれらの値の3月から11月の期間の

平均値を示す。

(2) 解析方法

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が、説明変数間で相関が高い場合は多重共線性の疑いが高くなり、得られた結果の信憑性は低くなる。一方、主成分回帰分析²¹⁾は多重共線性の疑いが高いデータも取り扱い可能な手法として知られている。

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になっている。各主成分の主成分得点に基づき、各主成分の物理的意味を推測する。

続いて、各主成分の主成分得点を説明変数とし、目的変数をとって重回帰分析を行うが、通常は全ての主成分を用いることはなく、第1主成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、強制投与法、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、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) 主成分回帰分析を用いたアユの生息適正予測

表-1のアユの漁獲高を除いた全てのデータを用いて主成分分析を行った。図-1に第1~4主成分の因子負荷量の関係を示し、表-2には各主成分の固有値、寄与率および累積寄与率を示した。図-1(a)より第1主成分の因子負荷量は、CA, LMR, 185Qが高く、COD, BODが低いことがわかる。そのため、第1主成分は「河川の規模に関する因子」と判断される。一方、図-1(b)より第2主成分の因子負荷量は、NCG, COD, BODが高いことがわかる。これより、第2主成分は「水質に関する因子」と判断される。第3主成分に関しては、pHおよび

DO が高いという傾向は示しているが、これを包括して説明できる因子特性を推測することはできなかった。第4主成分に関してもSSが高い傾向を示しているものの、その他の水理量および水質に特筆すべき特徴がなく、因子特性を推測することができなかった。

表2より第1～4主成分までの累積寄与率は0.82であるので、第1～4主成分までを用いて次の重回帰分析を行う。アユの漁獲高を目的変数とし、第1～4主成分の主成分得点を説明変数として重回帰分析を行った。変数選択として変数増減法を用い、また回帰式の有意性を検証するために、 $F_{\alpha} = F_{\alpha} = 2.0$ と設定してF検定を行った。その結果、第1主成分および第2主成分の主成分得点が採用され、各主成分の偏回帰係数、標準回帰係数、偏相関係数およびP値は表3に示す通りになった。また、決定係数 R^2 は0.17であった。標準回帰係数(RPC)は標準偏回帰係数と各主成分の固有ベクトルとの積和として算出される。

表4に各パラメータのRPCおよびその絶対値の大きさの順位を示す。すなわち、アユの漁獲高はRPCを係数とした以下の多項式で求めることができる。

$$y^* = -0.239x_1^* - 0.232x_2^* + 0.188x_3^* - 0.183x_4^* - 0.104x_5^* - 0.083x_6^* + 0.043x_7^* + 0.034x_8^* + 0.028x_9^* + 0.015x_{10}^* \quad (1)$$

ここに、 y^* は正規化されたアユの漁獲高、 x_i^* は表4の各順位の諸量を正規化した値に相当する。実次元値 x_i と正規化された値 x_i^* との関係は次式で示される。

$$x_i^* = (x_i - \bar{x}_i) / x_{iRMS} \quad (2)$$

すなわち、平均値 $\bar{x}_i$ と標準偏差 x_{iRMS} を用いれば両者間の変換が可能である。式(1)で算出された正規化された漁獲高を式(2)によって実次元の予測値に変換した。図2にアユの漁獲高とその予測値との関係を示す。かなりのばらつきがあるものの、アユの漁獲高の増加に伴い予測値も増加しており、傾向は再現している。

(2) クラスタ分析に基づく河川の分類

主成分分析によって得られた主成分得点を用いて、クラスタ分析を行った。クラスタ間距離はユークリッド平方距離で定義し、併合後の距離計算手法にはウォード法を用いた。得られたデンドログラムを図3に示す。距離比のしきい値を100に設定すると、全ての河川が3つのクラスターのどれかに属する。図中の上段(北上川～千曲川)をcluster A、中段(荒川～芦田川)をcluster B、下段(関川～猪名川)をcluster Cと名付ける。表5にcluster A、cluster Bおよびcluster Cの平均漁獲高を示す。

ここで各クラスターと各主成分との対応を検討するために、表6に第1主成分、第2主成分の固有ベクトル、図4に各主成分の主成分得点を示す。表6より第1主成

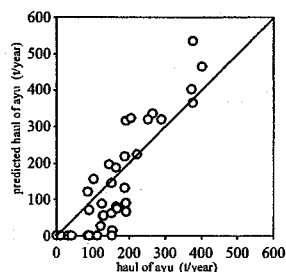


図2 アユの漁獲高と予測漁獲高の比較

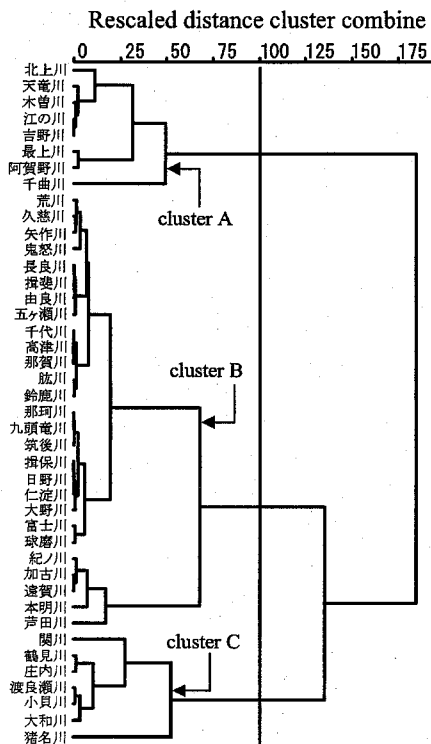


図3 クラスタ分析で得られたデンドログラム

表5 各クラスターにおけるアユの生息適正

	河川数	割合(%)	平均漁獲高(t/year)
cluster A	8	19.0	162.3
cluster B	27	64.3	152.3
cluster C	7	16.7	0.0

分については、CA、LMR、185Qの固有ベクトル値が正になっており、図4(a)より第1主成分得点は、cluster Aが正、cluster Bはゼロ付近、cluster Cは負であることが理解される。ここで各clusterの河川規模を見てみると、cluster Aの河川規模は大きく、cluster Bは中程度、cluster Cは小さいことがわかる。この結果は、第1主成分得点が正の場合、河川規模が大きいという結果と合致する(図1(a)、表6)。

表-6 第1および第2主成分の固有ベクトル

パラメータ	第1主成分	第2主成分
BOD	-0.380	0.378
COD	-0.351	0.383
DO	0.240	-0.343
NCG	-0.032	0.490
SS	0.015	0.304
75Q/185Q	-0.285	0.015
pH	-0.138	-0.227
185Q	0.434	0.236
LMR	0.437	0.256
CA	0.441	0.295

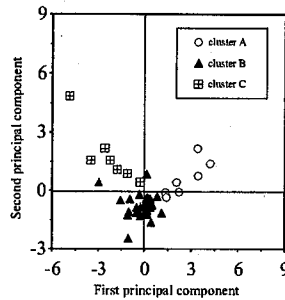


図-4(a) 第1, 2主成分の主成分得点

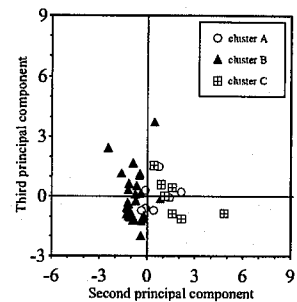


図-4(b) 第2, 3主成分の主成分得点

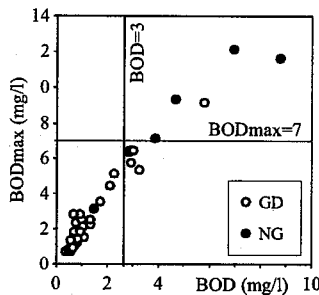


図-5(a) BODおよびBODmaxとアユの生息適正との関係

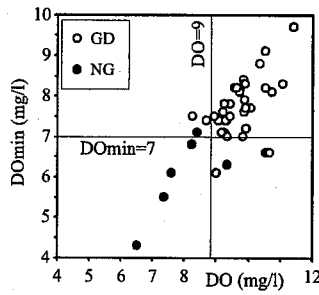


図-5(b) DOおよびDOmaxとアユの生息適正との関係

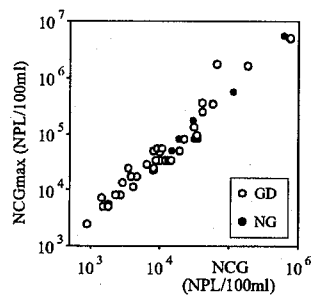


図-5(c) NCGおよびNCGmaxとアユの生息適正との関係

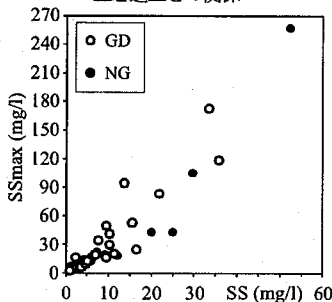


図-5(d) SSおよびSSmaxとアユの生息適正との関係

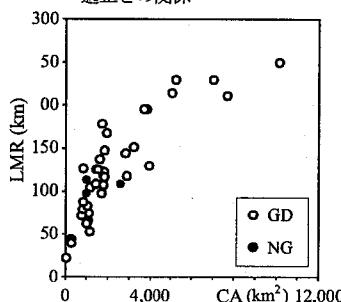


図-5(e) 流域面積CAと幹川流路延長LMRとアユの生息適正との関係

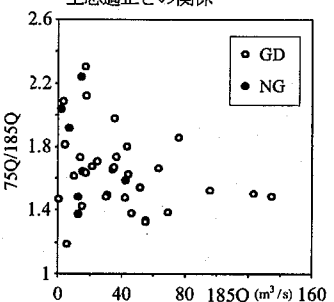


図-5(f) 平水流量および豊水流量との比とアユの生息適正との関係

一方、第2主成分については、BOD、COD、NCG、SSの固有ベクトル値が正で、DOが負である。また、図-4(b)より第2主成分得点はcluster Aのゼロ付近、cluster Bは負、cluster Cは正であることが理解される。ここで各clusterの水質を見てみると、cluster Aの水質は中程度、cluster Bは良好、cluster Cは悪いと判定される。この結果は、第2主成分得点が正の場合、水質が悪いという結果と合致する(図-1(b)、表-6)。

以上の解析およびcluster AおよびBの平均漁獲高が高く、cluster Cはゼロであること(表-5参照)を考慮すると、水質は中程度でも大規模な河川(cluster A)および規模は大きくないものの水質の良好な川(cluster B)ではアユの生息が可能であるが、小規模でかつ水質の悪化した川(cluster C)ではアユの生息が困難であることが明らかとなった。以下では、アユの生息に適したcluster AおよびBに属す

る河川をGD(Good)グループ、cluster Cに属する河川をNG(No Good)グループと分類する。

(3) アユの生息に影響を与える諸量に対する検討

GDおよびNGグループの各因子を比較することで、アユの生息が可能な定量的条件を検討する。

a) 水質条件

水質は平均値だけでなく、最大値あるいは最小値が発生した際にアユの生命を脅かすと考えられる。なぜなら、3月から11月にかけてアユが生息可能な水質を保っていたとしても、わずか数日だけでも極端に水質が悪化すればその河川のアユは死滅すると考えられるからである。そこで、アユの生息期間における最大値(max)あるいは最小値(min)と生息の可否について考察する。

図-5(a)~(d)はBOD、DO、大腸菌群数NCG、SSおよ

び対象期間におけるそれらの最大値(max)あるいは最小値(min)の平面に対して GD および NG グループをプロットしたものである。BOD に関しては、BOD および BODmax が高いときにアユの生息が困難となっている。この結果は、RPC の符号が負であることと一致する。BOD および BODmax の生息限界は $BOD=3\text{mg/L}$ 、 $BOD_{\text{max}}=7\text{mg/L}$ と推定される。水産用水基準²⁹⁾ではアユの生息限界を $BOD=2\text{mg/L}$ としており、ほぼ一致する。

DO に関しては、DO および DOmin が低いときにアユの生息が困難となっている。この結果は、RPC の符号が正であることと一致する。DO および DOmin の生息限界は $DO=9\text{mg/L}$ 、 $DO_{\text{min}}=7\text{mg/L}$ と推定される。

大腸菌群数 NCG に関しては、NCG の小さな領域で GD グループが多く存在し、また、NCG の大きな領域で NG グループが多く存在しており、RPC の符号が負であることと一致している。

SS に関しては、SS が低い領域で GD グループが多く存在している。この結果は、RPC の符号が負であることと一致する。なお、SS が高い領域で GD グループが、SS が低い領域で NG グループが存在するのは SS 以外の原因が存在するためであると推測される。

b) 水理条件

図-5(e)は流域面積 CA および幹川流路延長 LMR の平面に GD および NG グループをプロットしたものであり、図-5(f)は平水流量 185Q および豊水流量と平水流量の比 75Q/185Q 平面に GD および NG グループをプロットしたものである。図-5(e)より流域面積が広いほど、また、幹川流路延長が長いほどアユの生息に適していると判断される。図-5(f)より平水流量 185Q の増加に伴い GD グループの占める率が増加することから、平水流量 185Q の多い河川ほどアユの生息に適していると判断される。以上のことから、流域面積や幹川流路延長の大きな河川ほど、平水流量が多く流量変動が大きく激しいほどアユの生息に適していることが定量的に解明された。

4. おわりに

本研究は、アユの生息に適した河川の条件を統計解析によって解明したものである。以下に結論を示す。

- (1) DO, pH, SS, COD, BOD, 大腸菌群数, 流域面積, 幹川流路延長, 平水流量, 豊水流量と平水流量との比を用いたアユの漁獲高の予測式(1)を提案した。
- (2) アユの生息限界は $BOD=3\text{mg/L}$ 、最大 $BOD=7\text{mg/L}$ 、 $DO=9\text{mg/L}$ 、最小 $DO=7\text{mg/L}$ と推定された。
- (3) アユの生息に適した河川は、大腸菌群数が少なく、平水流量が多く、流量変動が大きく、また流域面積およ

び幹川流路延長が長い河川であることが明らかになった。

謝辞：本研究を行うに当たり、北川漁協の長瀬一己組合長、延岡五ヶ瀬川漁協の須田政道組合長、工藤平寿郎理事、甲斐勝組合員、土田栄組合員およびその他の組合員の皆様に貴重なコメントを頂いた。延岡河川国道事務所の高尾秀敏副所長、川越邦俊専門員、青木繁技官および当時本学学部生の畑中弘憲、赤木慶喜の諸氏に協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計情報部：漁業・養殖業生産統計年報、(財)農林統計協会、2006。
- 2) 水野信彦：中流域（アユ漁場）での河川改修の問題点と改善策、第6号、pp.1-7、1980。
- 3) 森誠一、信山社サイテック、pp.131-144、1998。
- 4) 田子泰彦：神通川と庄川の中流域における最近の淵の消長、水産増殖、第49巻、pp.397-404、2001。
- 5) 木下篤彦ら：排砂に伴う濁水によるイワナへの影響評価、水工学論文集、第47巻、pp.1129-1134、2003。
- 6) Iida, Y. and Mizukami, A.: Outbreaks of coldwater disease in wild ayu and pale chub, Fish Pathology, Vol.31, pp.157-164, 1996。
- 7) Izumi, S. and Wakabayashi, H.: Use of PCR to detect *Cytophaga psychrophila* from apparently healthy juvenile ayu and coho salmon eggs, Fish Pathology, Vol.32, pp.169-173, 1997。
- 8) 植村三香ら：ゲンジボタルの生息条件について、水工学論文集、第47巻、pp.1117-1122、2003。
- 9) 砂田憲吾、川村和也：生息魚種の多様性を支える河道物理特性に関する研究、水工学論文集、第48巻、pp.1561-1566、2004。
- 10) 早川敬之ら：魚類データに基づく総合河川型指標と水質総合指標を用いた多変量解析による河川環境評価、水工学論文集、第49巻、pp.1531-1536、2005。
- 11) 鬼束幸樹、東野誠、高見徹、永矢貴之、大塚法晴、秋山壽一郎、松本和也：アユの産卵に必要なパラメータの選定と産卵密度の予測、水工学論文集、第48巻、pp.1549-1554、2004。
- 12) 石田力三：アユその生態と釣り、p.83-84、1988。
- 13) 石田力三、アニマ、No.43、pp.12-20、1976。
- 14) 沼田真監修：河川の生態学、築地書館、2000。
- 15) 喜多村雄一ら：アユ漁獲量を用いた河川生態系の予測と評価、河川技術論文集、第8巻、pp.295-300、2002。
- 16) 千葉健治：アユの成長に及ぼす溶存酸素の影響について、Nippon Suisan Gakkaishi, Vol.54, No.2, pp.175-181, 1988。
- 17) 堀木信男：和歌山県における海産稚アユ採捕量の年変動、Nippon Suisan Gakkaishi, Vol.57, No.6, pp.1065-1070, 1991。
- 18) ダム水源環境整備センター：最新魚道の設計、信山社サイテック、p.132-141、1988。
- 19) (社)日本河川協会：雨量年表・流量年表・日本水質年鑑、2006。
- 20) 日本河川協会：平成14年流量年表、p.421-453、2005。
- 21) 橋本次郎：多変量主成分回帰(MPR)モデルによる予測改善への試み、創価経済論集、第26巻1・2合併号、1996。
- 22) 日本水産資源保護協会：水産用水基準、1983。

STATISTICAL INVESTIGATION ON HABITABILITY FOR AYU

Kouki ONITSUKA, Takayuki NAGAYA, Yoshiki SHIRAISHI, Makoto HIGASHINO,
Tohru TAKAMI, Shinzi MATOBA, Juichiro AKIYAMA,
Hiroaki OZEKI and Yumiko NAKAGAWA

The ayu is one of the most important fish for fishery in Japan so that it is necessary to conduct the environmental assessment before construction of the hydraulic structures in the river. Some parameters such as hydraulics and water quality may influence on habitability for the ayu. However, it is not known that what kind of parameter is effective on habitability for the ayu. In this study, a statistical analysis, such as a cluster analysis and principal component regression analysis, was conducted by using of 42 A-class river data. As a result, the haul of ayu can be predicted from the hydraulics and water quality. It was found that 14mg/L(SS) and 3mg/L(BOD) were the limitations of habitat condition for the ayu.