

アユ漁獲量を用いた河川生態系の予測と評価

DEVELOPMENT OF THE PREDICTION AND EVALUATION METHOD FOR RIVER ECOSYSTEM BY THE CATCHES OF SWEET FISH

喜多村雄一¹・松本正喜²・勝山一朗²

Yuichi Kitamura, Masaki Matsumoto, Ichiro Katsuyama

¹正会員 電源開発株式会社 茅ヶ崎研究センター (〒253-0041 神奈川県茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88)

²日本エヌ・ユー・エス株式会社 (〒108-0022 東京都港区海岸 3-9-15 Loop-X ビル 8F)

Recently, the reservoir sediment supply to the downstream is a key of river management. The trials have been carried and examined to establish the technique of sediment supply. The environmental aspects should be essential of as well as the safety against flood and the impacts on the river ecosystem. The catches of the sweet fish, that is a typical fish at middle reaches of many rivers in Japan, are also the river ecosystem index.

In this study, 22 rivers are characterized by the environmental factors and are evaluated by sweet fish catches. The new method are developed and based on the relationships between some environmental factors. The environmental factors in the method are easily obtained and applicable to many rivers. The impacts of sediment supply on the river ecosystem are able to be predicted by this method, and suitable for comparative studies on river ecosystem.

Key words: sediment supply, sweet fish, river ecosystem, SS

1. はじめに

近年、河川における土砂供給バランスに配慮しつつ、ダム貯水池で遮断された土砂を下流補給する排砂試験が実施されている。土砂補給技術の確立には、土砂補給に伴う河川環境への影響を的確に予測評価することが重要である。現状において排砂が実施されている水系は少なく、排砂による河川生態系への影響を予測することは難しい。本研究では、多くの河川を調査対象として環境因子と河川生態系の間に一般的にみられる関連性の把握を試みた。さらに把握した関連性に基づき、排砂に伴う環境保全上の問題点を抽出することは有効であると考えた。

河川生態系を評価する手法としては、IFIM¹⁾、IBI²⁾、RPI³⁾などが提案されている。これらの評価手法は有効な方法であるが、調査対象水系における詳細な調査を必要とするか、必要とされる調査資料の有無によって適用可能な河川が限定されるため、多くの河川を比較する方法として適用することができない。

アユ (*Plecoglossus altivelis*) は、全国の河川に分布する河川における典型的な魚類であり、中流域の河川生態環境を代表する魚類である。本研究では、これまで多くの河川において蓄積されてきた長期間のアユ漁獲量データに着目し、河川生態系評価指標としての可能性について検討を行った。

2. 研究方法

(1) 資料収集

本研究では、解析のパラメータとして必要なアユ漁獲量および放流量、流量、水質に関する統計値・観測値を、公表データとして入手することが可能な水系を選定し調査対象水系とした。調査対象水系は、[1]阿賀野川、[2]久慈川、[3]那珂川、[4]黒部川、[5]庄川、[6]天竜川、[7]富士川、[8]豊川、[9]長良川、[10]木曽川、[11]揖斐川、[12]九頭竜川、[13]熊野川、[14]吉野川、[15]四万十川、[16]球磨川、[17]筑後川、[18]最上川、[19]荒川 (関東)、[20]神通川、[21]仁淀川、[22]緑川である。

パラメータとした漁獲量、放流量、水質 (水温、SS、BOD、DO)、流量、アユ生息範囲、河川工作物の流域面積と湛水面積、河床勾配、流域の森林面積に関するデータは、主に表-1 に示した資料に記載されたデータを用いた。水系別のアユ放流量に関する資料が公表されていない県については、各県の内水面漁業を管轄する部署が漁業協同組合に対して聞き取り調査を実施し収集を行った。

調査対象期間を 1988~1998 年の 11 年間とし、アユ漁獲期である 6~9 月の 4 ヶ月間に観測されたデータを解析に用いた。

表-1 データ収集に用いた資料の一覧

項目	資料名
漁獲量	漁業養殖業生産統計年報 ⁴⁾
放流量	流域各県発行の統計書 ^{5)~13)}
水質	公共用水域水質データファイル ¹⁴⁾
流量	流量年表 ¹⁵⁾
アユ生息範囲・河床	河川水辺の国勢調査年報 ¹⁶⁾
河床勾配・土地利用状況	国土数値情報 ¹⁷⁾
河川工作物	ダム年鑑 2000 年版 ¹⁸⁾

(2) 環境因子の集計

a) 比漁獲量 比放流量

各水系の年単位のアユ漁獲量と放流量をその水系全体の流域面積で除し、流域面積 1 km²あたりの漁獲量および放流量を求め、比漁獲量、比放流量とした。調査対象期間の比漁獲量および比放流量の中央値を求め、各水系の代表値とした。

b) 水質

河川水辺の国勢調査年報¹⁶⁾によってアユが確認されている範囲をアユ確認範囲とした。アユ確認範囲内で最も下流に位置する公共用水域水質調査地点における観測データを解析に用いた¹⁴⁾。DO は、同時に測定された水温観測値に基づき、溶存酸素飽和度（以下飽和度と記載した）に変換した¹⁹⁾。調査対象期間中に観測された全データから、水系ごとの中央値を求め、各水系の代表値とした。

c) 流量

アユ生息範囲内で最も下流に位置する流量観測所における日流量値を解析に用いた¹⁵⁾。調査対象期間に観測された全ての日流量から水系ごとに中央値を求めた。求めた中央値を水系全体の流域面積で除し、漁獲期の比流量とし、各水系の代表値とした。

各水系における年単位の最大日流量と平水流量の比率を最大／平水流量比とした。年単位で算出した最大／平水流量比から、水系ごとに中央値を求めて各水系の代表値とした。

d) 流域における土地利用

国土数値情報 KS603¹⁷⁾に基づき各水系流域における土地利用状況を集計し、森林面積が流域面積に占める比率を森林率とした。

e) ダムおよび堰

各水系において 1998 年以前に竣工したダム・堰のうち、最大の流域面積を示すダム・堰を、その水系における最下流ダムとした。各水系の流域面積に占める最下流ダムの流域面積を算出し、最下流ダム流域面積比率とした。各水系に設置された全てのダム・堰の湛水面積合計値を求め、水系全体の流域面積に占める比率を算出し湛水面積率とした¹⁸⁾。

f) 河床勾配

河床勾配は、国土数値情報 KS606¹⁷⁾に記載された単位

流域ごとに、上流側単位流域との、「河口からの距離」の差と「河床標高」の差の比率として求めた。アユ確認範囲に対応する単位流域の河床勾配をみると、アユ確認範囲下流端と上流端の位置は、河床勾配が約 1/1000 の地点（A 地点）、約 1/58 の地点（B 地点）と概ね一致する水系が多かった。水系ごとに A 地点と、B 地点との「河口からの距離」の差と「河床標高」の差から、アユ確認範囲の平均的な河床勾配を算出した（以下、単に勾配と記述した）。

以上に述べた集計方法によって、水系別に各環境因子の代表値を算出した。各環境因子の水系別代表値が、正規分布に適合した分布を示すか Shapiro-Wilk の検定によって確認した。検定の結果、比漁獲量、比放流量、水温、BOD、SS、飽和度、湛水面積率、最大／平水流量比の分布は、正規分布よりも対数正規分布に近いことが確かめられたので、これらの環境因子を対数変換したうえで解析に用いた。

(3) 解析

a) 比漁獲量に基づく水系群

調査対象とした 22 河川の比漁獲量の中央値を基準値として、各水系の比漁獲量を基準値と比較した。比漁獲量が、基準値以上の水系をまとめて多漁獲量水系群とし、基準値未満の水系をまとめて少漁獲量水系群とした。

b) 単相関解析

解析に用いた 12 の因子について、全ての 2 因子の組合せに対して単相関解析を行った。相関係数の絶対値が 0.4 以上となった組合せに、かなりの関連性があると判断した。

c) 主成分分析

パラメータとした環境因子は、相互に関連しあい変動するとともに河川生態系に影響を及ぼしていると考えた。相互に関連しあう多数の環境因子による影響をより簡便に予測、評価するには、相互に関連しあう因子を集約してゆく主成分分析が有効である。

集計した 12 因子の主成分分析を行い、主成分 1 と主成分 2 について、各環境因子の因子負荷量を図示し、各環境因子と比漁獲量の関連性を検討した。

比漁獲量を河川生態系の指標として取り扱うため、比漁獲量を除く 11 因子による主成分分析を改めて行い、集約した少数の主成分によって河川環境を評価することが可能であるか検討した。11 因子を集約して得られた主成分 1 および主成分 2 と、比漁獲量の相関係数を求めた。さらに各水系を主成分 1、主成分 2 のスコアに基づき座標上にプロットし、多漁獲量水系群と少漁獲量水系群が配置される座標上のポジションを比較した。

d) 判別分析

少数の主成分によって、河川生態系を評価、予測することの妥当性を確認するため、多漁獲量水系群と少漁獲

量水系群の区分を分類変数とし、比漁獲量を除く 11 因子を集約した主成分 1 と主成分 2 を説明変数とする判別分析を行った。

なお、判別分析は説明変数の分布に正規性を要求するため、主成分 1 と主成分 2 の分布が正規分布に従っていることを、事前に Shapiro-Wilk の検定によって確認した。

3. 研究結果

調査対象 22 河川の比漁獲量の中間値は、木曽川の比漁獲量 71 kg/km² であった (図-1) 。比漁獲量が、71 kg/km² 以上の水系を多漁獲量水系群とし、未満の水系を少漁獲量水系群とした。

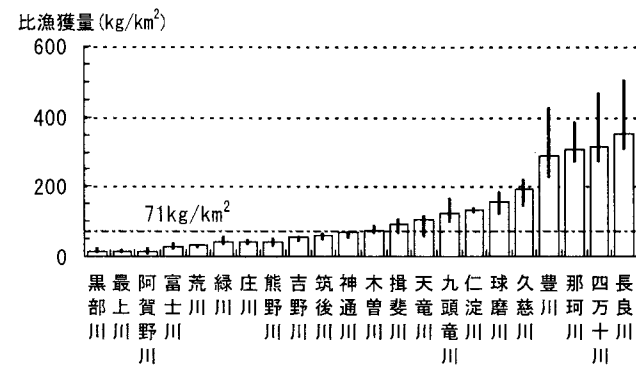


図-1 比漁獲量による各水系の比較. 71 kg/km² を基準値としてアユ漁獲量の多い水系と少ない水系に区分した. パー上端は 75% 四分位値を示し, 下端は 25% 四分位値を示す.

単相関解析によって得られた比漁獲量を中心とする因子間の関連性を、図-2 に示した. 相関係数の絶対値が 0.7 以上となる強い相関を示す 2 因子の組合せはなかった. 図-2 には相関係数の絶対値が 0.4~0.7 の範囲で、かなりの相関が認められた組合せを示した. 比漁獲量は、比放流量および水温と正の関連性を示し、SS および湛水面積率と負の関連性を示した。

比漁獲量を含む 12 の環境因子の主成分分析によって得られた結果を表-2 に示し、各因子の因子負荷量を図-3 に示した. 主成分の累積寄与率は、主成分 3 までで 63% であり、河川環境のばらつきを十分に説明することはできなかった (表-2) 。

比漁獲量は、主成分 2 との因子負荷量が高く、正の強い相関が認められた. 各環境因子と主成分 2 との因子負荷量をみると、水温、最大/平水流量比、比放流量は、主成分 2 と正の高い相関を示し、勾配、SS、湛水面積比率は、負の高い相関を示した。

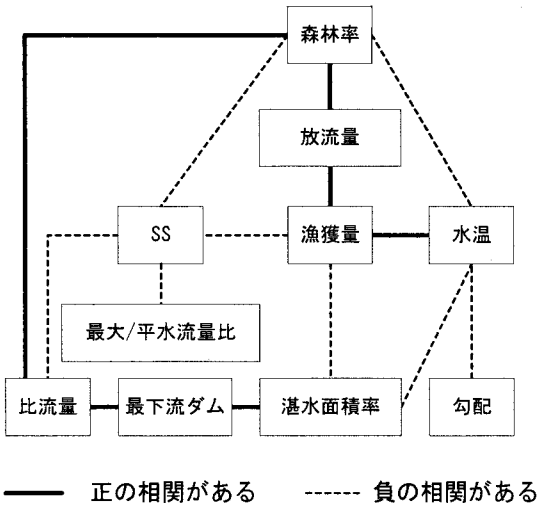


図-2 各因子間の単相関関係. 相関係数の絶対値が 0.4 以上であった関連性を示した

表-2 主成分分析結果

	主成分1	主成分2	主成分3
固有値	2.98	2.80	1.84
寄与率	24.8	23.3	15.3
累積寄与率	24.8	48.1	63.4

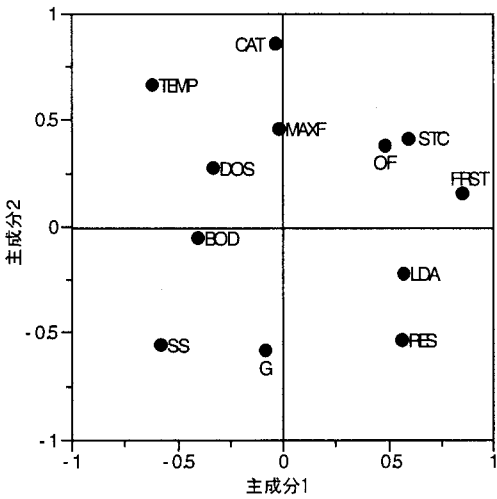


図-3 因子負荷量の 2 次元表示. CAT : 漁獲量, STC : 放流量, TEMP : 水温, BOD : 生物学的酸素要求量, SS : 懸濁物濃度, DOS : 溶存酸素飽和度, LDA : 最下流ダムの流域面積比率, RES : 湛水面積比率, FRST : 森林率, OF : 比流量, MAXF : 最大/平水流量比, G : 勾配

以上の結果から導かれた比漁獲量の高い水系の特徴として、①水温が高い②勾配が緩い③濁りが少ない④ダム貯水池の湛水面積が少ない⑤最大流量と平水流量の差が大きい⑥放流量が多い、などを挙げることができた. 調査対象水系にみられたアユの比漁獲量の変動が、放流量という直接的で人為的な環境の変動のみではなく、地理的条件や水質など物理化学的な環境因子と関連すること

を確認することができた。

比漁獲量を除く 11 因子の主成分分析を行った結果を表-3 と図-4 に示した。主成分 3 までの累積寄与率は約 63%であり、水系のばらつきを十分に説明するには至らなかった（表-3）。

比漁獲量と主成分 1、主成分 2 との相関係数を求めると、それぞれ 0.00、0.71 であり、比漁獲量と主成分 2 との強い相関が認められた。環境因子間の単相関分析では、比漁獲量との相関係数が 0.7 以上となる強い関連性を示した環境因子はなく、主成分分析によって比漁獲量とより強い関連性を示す主成分を求めることができた。

主成分 2 の因子負荷量をみると、水温が最も高く、次いで勾配、SS、最大／平水流量比率、湛水面積率が高かった（図-4）。

主成分 1 と主成分 2 のスコアに基づき、各水系を 2 次元の座標上にプロットした（図-5）。多漁獲量水系群（○）と少漁獲量水系群（+）は、それぞれ座標上のポジションが異なり、多漁獲量水系群は第 1 象限を中心に配置され、少漁獲量水系群は第 3 象限を中心に配置された。

主成分 1 および主成分 2 を説明変数として 2 群を区分するため判別分析を行った。判別分析による正判別率は 77.3%であり、式（1）に示した判別関数が導かれた。

$$0.18 P_1 + 1.24 P_2 = 0 \quad (1)$$

P_1 : 主成分 1 P_2 : 主成分 2

判別分析において誤判別となった水系は、[6]天竜川、[10]木曽川、[12]九頭竜川、[13]熊野川、[14]吉野川であった。[6]天竜川と[10]木曽川の比漁獲量は、水系を区分する際の基準値である 71 kg/km²との差が小さく（図-1）、判別分析によって誤判別になりやすい水系であると考えられた。[6]天竜川や[10]木曽川は、比漁獲量の分布からみて 2 群の境界に位置する水系である（図-1）。図-5 に示したこれらの水系のポジションは、二群の境界である判別関数の近傍に位置しており、比漁獲量からみた水系の位置付けとよく対応していた。

[12]九頭竜川、[13]熊野川、[14]吉野川などのポジションは判別関数から離れており、境界上に位置するとはいえなかった。これらの水系の比漁獲量は、主成分 1 と主成分 2 に集約することができなかった環境因子による影響を受けていると考えられた。

表-3 主成分分析結果

	主成分1	主成分2	主成分3
固有値	2.98	2.16	1.83
寄与率	27.1	19.6	16.7
累積寄与率	27.1	46.7	63.4

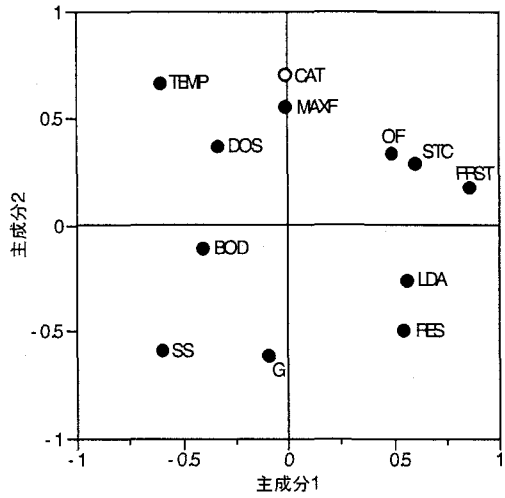


図-4 因子負荷量の 2 次元表示。STC：比放流量、TEMP：水温、BOD：生物学的酸素要求量、SS：懸濁物濃度、DOS：溶存酸素飽和度、LDA：最下流ダムの流域面積比率、RES：湛水面積比率、FRST：森林率、OF：比流量、MAXF：最大／平水流量比 G：勾配 CAT：比漁獲量と主成分 1、2 との相関係数を求め（○）としてプロットした

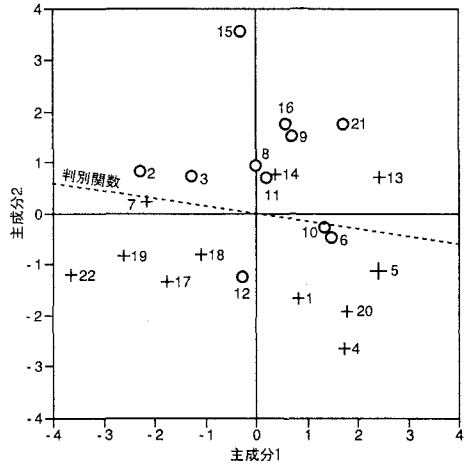


図-5 主成分スコアによる水系ポジションの 2 次元表示。
（1：阿賀野川、2：久慈川、3：那珂川、4：黒部川、5：庄川、6：天竜川、7：富士川、8：豊川、9：長良川、10：木曽川、11：揖斐川、12：九頭竜川、13：熊野川、14：吉野川、15：四万十川、16：球磨川、17：筑後川、18：最上川、19：荒川、20：神通川、21：仁淀川、22：緑川、○：多漁獲量水系群、+：少漁獲量水系群）

4. 研究成果と考察

(1) 生態系指標としてのアユ漁獲量

本研究では、アユ漁獲量による河川生態系の評価を試みた。それは、次に示す理由に基づいている。

- ①アユは、全国の河川に生息し、中流域の河川生態系において典型的な魚類である。
- ②アユの生息には、流量²⁰⁾、水質²¹⁾、生息場となる河床の多様性²²⁾、餌料となる藻類²³⁾および水生昆虫の繁殖

24)、遡上および降下の移動経路の確保²⁵⁾など、環境が保全された河川を必要とする。

③アユの寿命は1年であり、漁獲量の年変動は、その年の各種環境因子の変動を反映すると考えられる。

④漁獲量・放流量に関する統計値が、長期に亘り経年的に公表されている。

⑤漁業や遊漁の対象魚として人との関係が深い。

河川生態系の構成要素となる生物は多く、アユの漁獲量によって河川生態系を評価することが妥当であるか検討する必要があった。漁獲量が多いということは、その水系における現存量の多いことが条件となる。アユ現存量の維持には、摂餌活動や産卵の場となる瀬と、休息や出水の際の避難場となる淵・川岸の淀みなどが適切に配置され河床の多様性が保全されていること²²⁾、河川での主な餌料となる付着藻類が繁殖していること²³⁾、流下・遡上するために必要な移動経路が確保されていること²⁵⁾、アユおよび付着藻類の生育に適した水質が保たれていること²⁰⁾などの条件が必要である。付着藻類は河川生態系における主要な一次生産者である²⁶⁾。また、河床の多様性が保全された河川には、アユ以外の多くの動植物の生息場が存在していると考えられる²⁷⁾。すなわちアユの漁獲量を高める環境条件は、多くの河川生態系を構成する生物の生育に適した環境条件を備えていると考えられる。

アユは人間活動との関連性が強く、その漁獲量は、放流、漁獲、遊魚などの人為的な行為によって変動する。これらの人為的環境の変動のみによって漁獲量の変動が説明されるのであれば、アユ漁獲量を生態系の指標とすることはできない。放流量を1環境因子として扱い解析を行った結果、漁獲量は、放流量に加え水温、SS、流量変動、河床勾配、ダム設置状況など多くの環境因子の影響を受けていることを確認することができた。

これらの結果からアユの漁獲量を指標として河川生態系を評価することが可能であるという結論に達した。

(2) 環境因子の集約

解析に用いた11因子を主成分分析によって集約した。その結果、河川生態系の指標としたアユ漁獲量と強い関連性を示す主成分（主に主成分2）を導くことができた。主成分1および主成分2のスコアに基づく座標上の各水系のポジションは、アユの比漁獲量に基づいて区分した多漁獲量水系群と少漁獲量水系群とよく対応しており、これらの2つの主成分によって河川生態系を評価することが可能であると考えられた。

本研究でパラメータとした漁獲量、放流量、水質、流量、ダムの流域面積、湛水面積、勾配などに関するデータは、長期に亘って蓄積されており、入手することも容易である。このようなデータをパラメータとすることから、本手法による生態系評価法は、適用可能な河川が多く、河川生態系の経時的変化についても検討することが

可能な方法である。

ダム貯水池に堆積した有機物とその分解物が、排砂に伴って下流域に流出することが考えられる。しかし、これらの物質に関する観測値の入手が困難であることから、本手法において検討することはできなかった。ただし、これら有害物質の流出量を極力減少させる配慮は必要である。

(3) 濁りによる河川環境への影響

排砂方法として、浚渫土砂をダム下流に仮置きし、出水時に流下させる方法を想定した。排砂実施に伴う河川環境への環境負荷として、濁りの増加が考えられた。

濁りの増加が及ぼすアユへの影響として、濁りの多い河川からの忌避²¹⁾、産卵行動および卵のふ化の阻害²⁸⁾、河床に達する光量減少や微細土砂堆積による付着藻類現存量の減少²⁹⁾³⁰⁾と、それに伴う餌料³¹⁾の減少などが挙げられている。

図-5に示した主成分1と主成分2からなる座標上において、各水系のSSを増加させると、水系のポジションは、第3象限の方向、すなわち少漁獲量水系群が占める位置に向かって移動した。このことから濁りの増加は、河川生態系に対して負の影響を及ぼすと予測された。

多漁獲量水系群では、SS中央値が11 mg/L以下であった。排砂実施に際し、アユ生息範囲における漁獲期のSSに配慮し河川環境を維持することが望ましい。

(4) 河川環境の攪乱

濁り以外の環境負荷として、出水時に大量の土砂が流下するため、河床材料の交換、河床付着物の除去、堆積と洗掘による地形の変化²⁷⁾など、河川環境に対する攪乱が増大すると考えた。

適度な攪乱は、生物多様性を保全するために必要であると考えられており、1年間のうち60番目に大きな日流量を生態的フラッシュ流量とし、これを河川で発生する攪乱の指標として評価を行うことが提案されていた³²⁾。

本研究では、河川環境の攪乱の影響について検討することを目的として最大/平水流量比をパラメータとして導入した。最大/平水流量比は、主成分2との因子負荷量が高く、最大/平水流量比の高い水系では、比漁獲量が高いという関連性がみられた(図-4、図-5)。この関連性は、河川環境の攪乱が、生態系保全へ寄与していることを示すものと考えられた。

一方、アユの遊泳力²⁰⁾を超えるような流速が生ずる出水時にアユが下流に流され、現存量および漁獲量の減少を引き起こすことも考えられる。大量の土砂の移動に伴う環境攪乱が生ずる状況で、河川生態系を良好な状態を維持するために許容される攪乱の規模について、定量的な評価が必要であると考えられた。

5. おわりに

本研究による成果をまとめ、次に示した。

- ①アユ漁獲量は、その他の環境因子との関連性を解析する手法によって、河川生態系の指標として適用できることがわかった。
- ②この評価手法は、公表されているデータに基づいており、多くの河川に適用することが可能である。
- ③排砂による河川環境への負荷として濁りの増加が想定された。SS の増加は、比漁獲量を減少させる方向に作用することから、河川生態系に負の影響を与えると予測された。
- ④最大／平水流量比の高い水系では、比漁獲量が高いという関連性が認められ、河川環境の攪乱が生態系を保全する作用があると考えられた。

一方、大量の土砂流下を伴う排砂に起因する攪乱について、河川環境保全の面から許容される規模を定量的に検討する必要がある。

謝辞：本研究の資料収集にあたり、アユ放流量に関する資料のご提供を頂いた関係各県の内水面漁業を管轄する部署および漁業協同組合の方々に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1)アメリカ内務省／国立生物研究所（中村俊六，テリー・ワドゥル訳）：IFIM 入門，（財）リバーフロント整備センター，1999.
- 2)小出水規行，松宮義晴：Index of biotic integrity による河川魚類の生息環境評価，水産海洋研究会報，Vol. 61, pp. 144-156, 1997.
- 3)墨田迪彰：付着珪藻群集による北陸河川汚濁の数量的評価-3-珪藻汚濁指数 (DAI_{PO}) と河川総合評価点 (RPI_D) の季節変化，陸水学雑誌，Vol. 50, pp. 199-205, 1989.
- 4)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（昭和 63 年～平成 10 年），（財）農林統計協会，1990-2000.
- 5)奈良県総務部編：奈良県統計年鑑（昭和 63 年～平成 10 年度），奈良県統計協会，1989-1999.
- 6)岐阜県編：岐阜県統計書（昭和 52 年度～平成 10 年度），岐阜県，1989-1999.
- 7)富山県農林水産部編：農業水産要覧（平成元年～平成 4 年・平成 11 年），富山県農林水産部，1989-1992, 1999.
- 8)福島県農政部水産課編：福島県水産要覧（昭和 63 年～平成 4 年），福島県，1990-1992.
- 9)福島県農林水産部水産課編：福島県水産要覧（平成 5 年～平成 10 年），福島県，1993-2000.
- 10)茨城県編：茨城の水産（昭和 63 年～平成 10 年），茨城県，1988-1998.
- 11)山梨県，山梨県統計協会編：山梨県統計年鑑（昭和 63 年～平成 10 年），山梨県，1991-2001.

- 12)熊本県林務水産部水産課編：熊本県の水産（平成元年～平成 11 年），熊本県，1989-1999.
- 13)埼玉県編：埼玉県漁業養殖業統計年報（昭和 63 年～平成 10 年），埼玉県，1989-1999.
- 14)国立環境研究所データベース：公共用水域水質データファイル（昭和 63 年度～平成 10 年度），1988-1998.
- 15)建設省河川局編集：流量年表（昭和 63 年版～平成 10 年版），（財）日本河川協会，1990-2000.
- 16)（財）リバーフロント整備センター編集，建設省河川局治水課監修：河川水辺の国勢調査年鑑 魚介類調査編（平成 2～3 年版，平成 4 年版，平成 6 年度版～平成 10 年度版），山海堂，1993, 1995, 1997-2000.
- 17)国土地理院編：国土数値情報，（財）日本地図センター
- 18)（財）日本ダム協会編：ダム年鑑 2000，（財）日本ダム協会，2000.
- 19)気象庁編：海洋観測指針（第 1 部），（財）気象業務支援センター，1999.
- 20)中村俊六：「魚のすみか」をはかる，JSCE Vol. 84, pp. 56-58, 1999.
- 21)石田力三：アユその生態と釣り，（株）つり人社，1988.
- 22)斉藤大作・藤田満士：魚類から見た河川流域環境—後志利別川を例として—，開発土木研究所月報，NO.535, pp. 33-42, 1997.
- 23)原田増造，伊藤誠厚：宮川におけるアユ成長と付着藻類との関係についての調査，三重県内水面水産試験場年報，Vol. 52, pp. 74-95, 1977.
- 24)宮地傳三郎，川那部浩哉，水野信彦：原色日本淡水魚類図鑑，保育社，1963.
- 25)玉井信行，水野信彦，中村俊六編：河川生態環境工学，東京大学出版会，1993.
- 26)巖佐耕三：珪藻の生物学，東京大学出版会，1976.
- 27)太田猛彦，高橋剛一郎編：溪流生態砂防学，東京大学出版会，1999.
- 28)日本水産資源保護協会：昭和 51 年の台風 17 号に起因する吉野川の濁水が漁業に及ぼした影響調査報告，1978.
- 29)渡辺仁治：砂利採取の河川生物への影響，遺伝，24(12), pp. 9-15, 1970.
- 30)山田浩之，中村太士：真駒内川における微細砂堆積と付着藻類の現存量に関する研究，日本林学会北海道支部論文集，Vol. 48, pp. 136-138, 2000.
- 31)川那部浩哉，森主一，水野信彦：アユの成長と藻類量，そのほか，生理生態，Vol. 8, pp. 117-123, 1959.
- 32)玉井信行，白川直樹，松崎浩憲：発電ダムにおける環境用水のコストと環境経済，第 5 回水資源に関するシンポジウム論文集，pp. 401-406, 1997.

(2002. 4. 15 受付)