

# 多摩川における魚類生息環境の改善について

## Improving the fish habitat of the Tama River

研究第一部 主任研究員 伊藤一十三  
研究第一部 部長 渡部 秀之  
研究第三部 主任研究員 高比良光治  
(株)東京建設コンサルタント 横山 博保  
(株) 水 土 舎 近 磯晴  
(株)水産環境研究所 石田 力三

多摩川は、「魚がのほりやすい川づくり推進モデル事業」のモデル河川に指定されており、魚道等の改築、設置、長期的な水質改善の取り組みなどにより、近年、アユの遡上は増加している。

このように、アユ等の遡上環境が改善されている一方で、魚類生息環境を把握し、必要により改善を行えるよう、知見の収集、改善方法等の検討が課題となっている。

本稿では、アユの生息環境に着目し、それらの現状を把握するとともに、課題を抽出した上で、その要因を分析し、良好な生育環境の保全方針についてとりまとめ、報告するものである。

キーワード：アユ、産卵・採餌・保育場環境、温排水影響検討、耳石元素分析、生息環境情報図

The Tama River has been designated as a model river for a "model project for the promotion of river works to facilitate fish migration." As a result of improvement efforts such as the modification or construction of fishways and long-term water quality improvement measures, the number of sweet fish (*Plecoglossus altivelis*) returning to spawn has been on the increase in recent years.

The environment for sweet fish and other anadromous fish species has been improving. For the identification and, if necessary, improvement of fish habitats, however, there is a growing need to develop information collection and improvement methods.

In this study, the present state of the sweet fish habitat was investigated, problems were identified, problem-causing factors were analyzed, and a policy for habitat conservation was drawn up. This paper reports the study results.

*Key words : Plecoglossus altivelis, spawning/feeding/nursery habitats, thermal effluent impact study, otolith element analysis, habitat information map*

# 1. はじめに

多摩川では、平成3年度に「魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業」のモデル河川に指定され、魚道の改築、設置に取り組んできた。更に、長期的な水質改善の取り組みなどとも相俟って、近年アユの遡上数は増加し、多い年には数十万尾を数えている。

このように、アユの遡上環境が改善されてきた一方で、生息環境を把握し、必要な改善を行うことが課題となっている。本検討では、アユの生息環境に着目し、それらの現状を把握するとともに、課題を抽出した上で、その要因を分析し、良好な生育環境の保全方針を検討した。

具体的には、産卵環境、採餌環境、仔稚魚の保育環境の成立要因を河床材料、水深・流速などの物理環境項目等に着眼して、現地調査を通じて把握した。また、アユの生息環境に関連して、下水処理場からの温排水の分布状況をリモートセンシング調査により把握し、アユのハビタットの分布と重ね合わせ、影響範囲を検討した。これらの結果を集約し、多摩川のアユの生息環境情報図を作成するとともに、アユの生息環境からみた河道の整備・維持管理方針をとりまとめた。

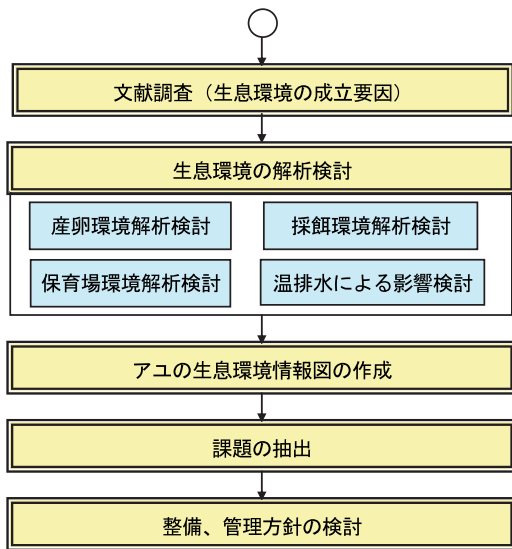


図-1 検討フロー

## 2. 生息環境の環境解析

### 2-1 産卵環境解析検討

多摩川におけるアユの産卵場の成立条件を把握するため、産卵場と近傍の対照区について、物理環境等を調査した。

#### (1) 調査概要

##### ○調査場所

調査は表-1に示す6箇所において、実施した。調査対象となる産卵場は、学識者と多摩川を踏査し、選定した。

表-1 産卵場解析検討 現地調査箇所

調査年	距離標	備考
H16	18k 付近	二子橋上流
	20k 付近	東名高速道路下流
	21.2k 付近	二ヶ領宿河原堰下流
H17	16.8k 付近	新多摩川大橋上流
	18k 付近	二子橋上流
	31k 付近	是政橋下流



写真-1 新多摩川大橋上流の産卵場

##### ○調査時期

調査は、産卵の始まる10月に行う予定であったが、台風による出水の影響等により、平成16年度は11月上旬、平成17年度は12月上旬に実施した。

##### ○調査項目及び方法

産卵場として良好と思われる早瀬に対して、流れの状態が異なる近傍の早瀬を対照区として設定した。事前にアユの産卵の有無を確認した上で産卵場と対照区について、以下の物理環境項目を調査し、比較した。なお、平成16年度は台風による出水の影響で着卵を確認できなかった。また、平成17年度もアユの産卵は少なく、16.8kでは着卵が確認できたが、18k及び31kの調査地点は聞き取り調査により着卵を確認した。

調査項目には、アユの産卵に必要とされる河床が軟らかくサクサクした状態を表す指標として、貫入度を加えた。

表-2 物理環境調査項目

項目	調査方法
河床勾配	レベルによる水準測量
水深	スタッフによる測深
流速	電磁流速計
貫入度	赤白ボールを体重60kgの人が突き刺す
河床材料	線格子法、直接採取法で採取し、粒度分布を調査する
付着物	目視により付着物の有無を観察する

#### (2) 調査結果及び産卵場の成立条件

##### ①河床勾配

平成17年度調査で着卵が確認された瀬の中央部の河床勾配は1/48~1/183、着卵が確認されなかった近傍

の瀬の河床勾配は1/36~1/133となっており、両者に大きな差異は見られなかった。

②水深・流速

平成17年度に調査を行った3箇所の着卵箇所、および対照区の水深と流速を表-3に示す。着卵が見られた瀬1の水深は15~33cmであり、着卵が見られなかった対照区の瀬2の水深は7~16cmであった。一般的な知見からはどちらも産卵場の条件を満たしているが、多摩川においては水深が大きい瀬が選好されている。

また、流速では、調査箇所Bでは瀬1(産卵場)と瀬2(対照区)で差異は見られないが、調査箇所A及びCでは、瀬1の流速が100cm/s前後であるのに対して瀬2は50cm/s前後と小さい、このことから多摩川においては、流速100cm/s前後の早瀬が選好されているようである。

表-3 産卵場と対照区の水深・流速

項目	区分	A:16.8k	B:18k	C:31k
水深 (cm)	瀬1・産卵場	15~33	11~26	14~26
	瀬2・対照区	7~16	5~10	8~16
流速 (cm/s)	瀬1・産卵場	91~136	36~77	71~130
	瀬2・対照区	36~77	32~81	29~68

③貫入度

2カ年の早瀬の貫入度調査の結果を図-2に示す。平成17年度は全般に前年度に比べて貫入度が小さく、河床がやや固めの傾向であったが、これは16年度に比べて出水が少なかったためと思われる。全体では、瀬2(対照区)に比べて瀬1(産卵場)は河床が軟らかいことから、アユの産卵においては、浮石状態の軟らかい河床の瀬が必要であると言える。

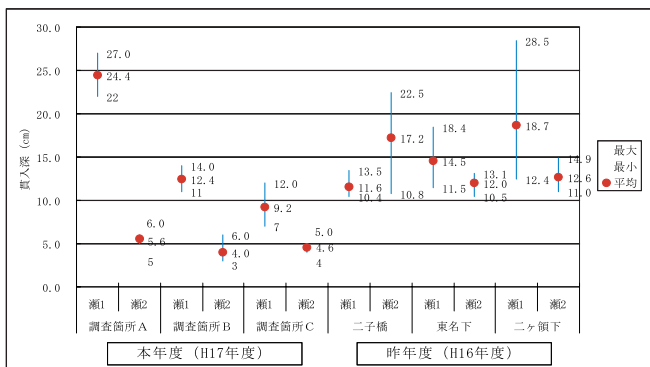


図-2 貫入度調査結果

④河床材料

2カ年の早瀬の河床材料調査結果を図-3及び図-4に示す。各調査地点の瀬1(産卵場)、瀬2(対照区)の河床材料の均等係数、曲率係数、中央粒径において明確な差異は見られなかった。一般に、アユの産卵

に適した粒径は、1~20mmで、「礫径20mm以下、特に5mm以下の丸礫が表層を15~20cm以上の厚さで覆っている状態」と言われており、河床材料の区分では細礫(2~4.75mm)、中礫(4.75mm~19mm)がこれに相当する。平成17年度の調査箇所A(新多摩川大橋上流)は細礫・中礫の質量百分率が40.2%と、他の調査地区と比べて高い数値を示しており、最も良好な状態であった。

「礫径20mm以下特に5mm以下の丸礫が表層を15~20cm以上の厚さで覆っている状態」を粒径分布の数値で表した知見はないが、前項で述べた貫入度からみた河床の状態も考慮すると、細礫、中礫が40~50%以上あることが望ましいと思われる。多摩川では、全般的に河床材料の粒径が産卵適粒径よりも大きいと言える。

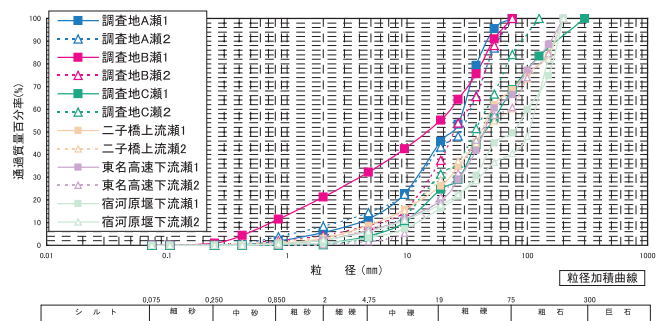


図-3 瀬の河床材料 粒径加積曲線

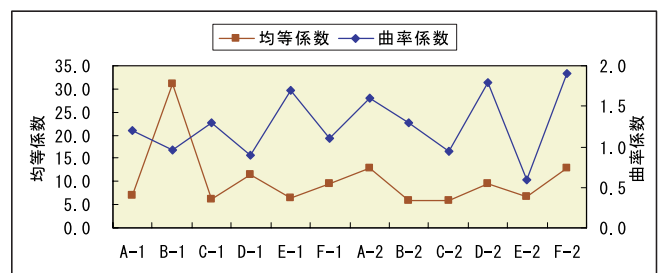


図-4 瀬の河床材料(均等係数、曲率係数)

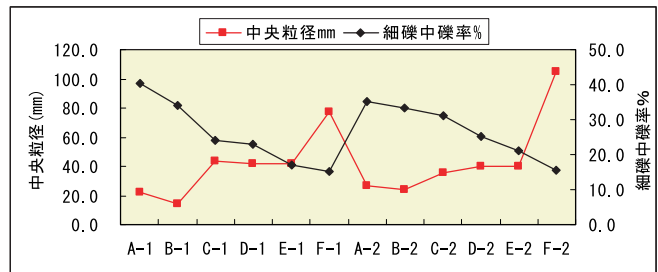


図-5 瀬の河床材料(中央粒径、細礫中礫率)

図-4、5の地点DはH16調査二子橋、EはH16調査東名下、FはH16調査宿河原下。-1は産卵場、-2は対照区を示す。

⑤付着物

着卵が確認された調査箇所A・瀬1では付着藻類は少なかった。(写真-2)これは一般知見の「外観上からも付着物が少なく周囲に比べて白く見える箇所での

着卵報告が多い」と一致する。しかしそれ以外の調査箇所においては、殆どの箇所で珪藻類・緑藻類を中心とする付着物が多く見られた（写真-3）。

これは産卵期以降の出水がほとんど見られなかったためと考えられる。



写真-2 調査箇所A瀬1



写真-3 調査箇所A瀬2

## 2-2 採餌環境解析検討

多摩川におけるアユの餌となる付着藻類の生育条件を把握するために、河床に付着板を設置し、藻類の付着及び生育状況を調査した。

### (1) 調査概要

#### ○調査場所

調査は表-4に示す2箇所において、実施した。

表-4 採餌場解析検討 現地調査箇所

調査年	距離標	備考
H16	20k 付近	東名高速道路下流
	31k 付近	是政橋下流

#### ○調査時期

調査は、11月上旬から1ヶ月間実施した。

#### ○調査項目及び方法

調査箇所の早瀬、平瀬、淵の3地点に付着板を設置し、5日間毎に付着物を採取し、クロロフィルa、強熱減量、藻類の区分（珪藻、緑藻、藍藻）毎の質量を測定した。

また、水質、水温、水深・流速を測定した他、気象庁データより、日照時間、気温をとりまとめ、付着藻類の生育状況との相関を調査した。

### (2) 調査結果及び採餌場の成立条件

図-6に20k地点での調査結果を示す

- ・平瀬は水深が30cm程度で安定しており、藻類の量は増加していったが、25日目では減少していた。
- ・早瀬は流速が70cm/s以下に下がってから藻類が付着し始めた。また、付着物は流速1m/sで剥離した。
- ・淵は水深が50cm以下になってから藻類が付着し始めた。
- ・日照時間や気温との相関は特に見られなかった。

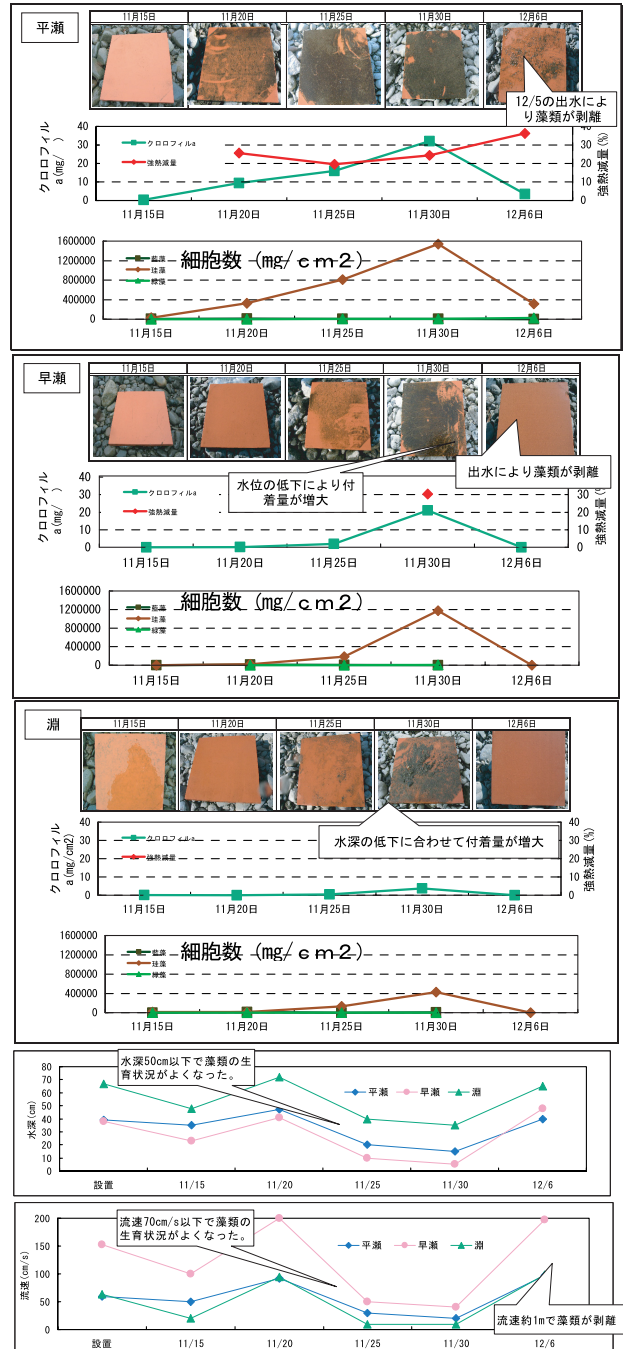


図-6 採餌環境 現地調査結果

(11月10日設置)

## 2-3 温排水による影響検討

アユを始め魚類生息環境に関連し、下水処理場からの温排水の実態を把握するため、産卵時期に合わせ、リモートセンシング調査により多摩川13k付近～45k付近の河川水の表面水温を測定した。

調査結果の一部を図-7に示す。

各処理場の放流口付近では、河川水の水温 $17^{\circ}\text{C}$ 前後に対して $20^{\circ}\text{C}$ を越える温排水が流入し、下流側に広がっている。また、14k～25k間のアユ産卵場が見られるエリアでは、アユの産卵適水温の上限値 $19^{\circ}\text{C}$ 程度の水温が面的に分布していることが把握できた。

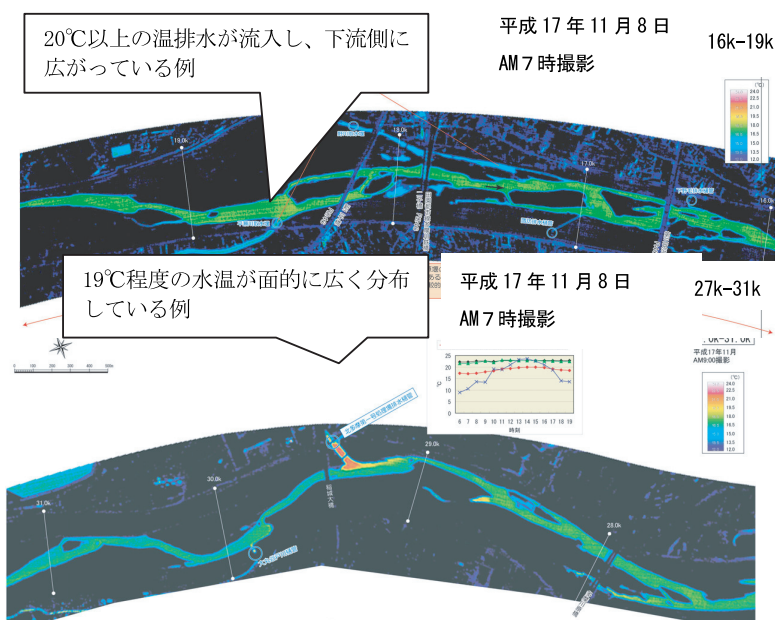


図-7 リモートセンシングによる水温調査結果例

## 2-4 アユ幼稚魚保育場構造とアユ由来の検討解析

### (1) アユの保育場と由来解析について

近年、河口域や沿岸域の環境保全や自然再生の重要性が高まっている。特に河口域は、川と海域の接点領域であると同時に、種々生息する生物の生態系保全、沿岸の環境管理の視点からも極めて重要な水域である。

本調査では、多摩川河口域に存在するアユ幼稚魚保育場の構造とその成立条件、本川に遡上する稚アユの海域における生息期間、産卵期に生息するアユの由来の推定を行った。

### (2) 材料と方法

#### 1) アユ幼稚魚保育場の解析検討

平成17年度、12月下旬～3月初旬の計5回実施された国土交通省京浜河川事務所による“多摩川アユの幼稚魚保育場調査”の結果を基に、①アユ仔稚魚の生息状況、②アユ仔稚魚の保育場構造を整理するとともに、③アユ仔稚魚保育場の成立条件について解析検討した。アユ保育場調査の調査地区を図-8に示す。

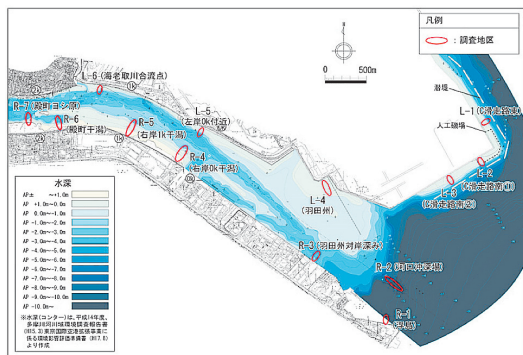


図-8 アユ仔稚魚保育場調査の調査13地区

#### 2) 多摩川生息アユの由来推定

##### <アユの海域における生息期間の推定>

平成17年の春季、調布堰に遡上した稚アユの耳石を光学顕微鏡下で観察して査定した。

##### <多摩川に生息するアユの由来推定>

上記の遡上稚アユの50個体と、同年9月～10月下旬までの多摩川本川の50個体を試料とした。

耳石元素分析は、耳石中心から縁辺に至る線上で線分析を行い、発育に伴う耳石のカルシウムとストロンチウムの濃度変化を調べた。分析条件は海野ら(2001)に準じ、カルシウムに対するストロンチウムの濃度比を103倍し表記したものをSr/Ca比とした。典型的な由来別アユの耳石元素分析のチャートパターン例を図-9に示す。

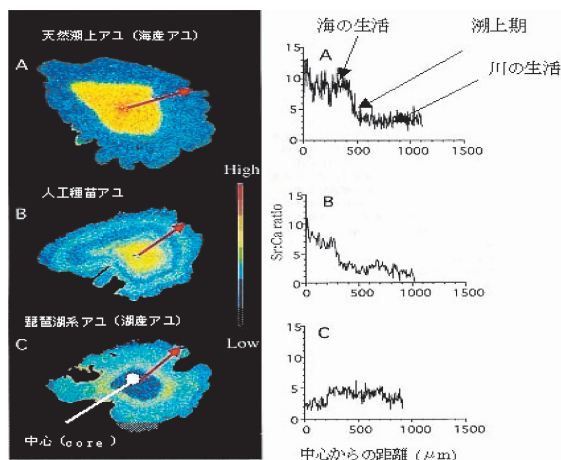


図-9 アユ耳石の典型的チャートパターン例

#### (3) 解析検討結果

##### 1) アユ幼稚魚保育場の解析検討

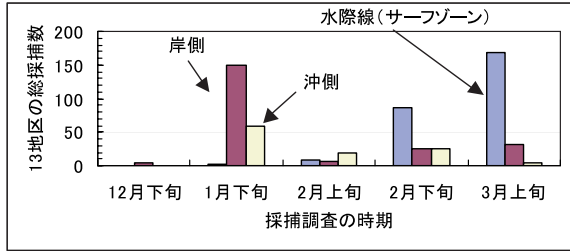
###### ①アユ仔稚魚の生息状況

###### <総採捕数と出現率>

13調査地区計5回の総採捕数は、594個体であり、採捕数の多い地区は、河口東岸の砂浜干潟域(人工磯場:L-2、L-3)および河口出口付近の右岸(R-3)で100個体以上となった。また、全調査を通しての出現率では、河口奥部左岸干潟域の海老取川流入部のL-6、右岸ヨシ帯前面のR-6が100%であった。

###### <各調査地区の分布傾向>

アユの採捕調査は、原則的に上潮～満潮時にサーフネット[1m(H)×3m(L)]による底曳きにより、各調査地区の水際線、岸側、沖側の3測線で行った。その結果、遡上時期に近づく2月下旬から3月上旬に、水際線で総採捕数が漸増する傾向にあった(図-10)。



図一10 各調査時期の総採捕数と測線別の分布と変遷

一方、調査地区別にみれば、河口出口の砂浜干潟域(L-2)および京浜運河出口に近接するヨシ帯前面の右岸の遠浅干潟域(R-4)の水際線で、3月上旬に採捕数が最も多い結果となった。同地区で採捕されたアユ仔稚魚の体長のバラツキは水際線が高く、産卵期の異なるアユの新たな加入があると推察された。

これらは太平洋側の四万十川河口や熊野川河口、日本海側の庄川・神通川河口でも水際線付近で採捕数が多いことと一致しており、多摩川河口においても、アユ稚魚の遡上前の利用場所として、波打ち際である浅海域(サーフゾーン)が重要な生息場所になっていることが窺えた。

＜餌料環境＞

アユ仔稚魚の胃の内容物と各調査地区の動物プランクトンの調査を実施した結果、アユ仔稚魚はカイアシ目を中心に摂餌しており、海水浮遊性のパラカラヌス、ケントロパジェス、カラヌスを多く摂っている個体が多かった。採取した各調査地区の動物プランクトンは甲殻類を中心に分布し、その90%はアユ仔稚魚の主要餌生物であるカイアシ類であった。

＜その他水質との関係＞

アユ捕獲調査と同時に、アユ仔稚魚の生息場の環境測定項目として、水温、塩分、COD<sub>Mn</sub>の測定・分析を行った。その結果、多摩川河口域は、既往資料によるアユ仔稚魚の生息に支障ない範囲内の値を示した。

②アユ仔稚魚保育場の構造

＜水深と保育場の関係＞

アユ仔稚魚の生息水深は4m以浅にあった。1月下旬～2月下旬の水温が低下する時期に、およそ表層～4mと生息水深の幅が広がった。また遡上が近づく2月下旬から3月の水温が高い時期に、徐々に浅場に移動している様子が窺えた

＜底質と保育場の関係＞

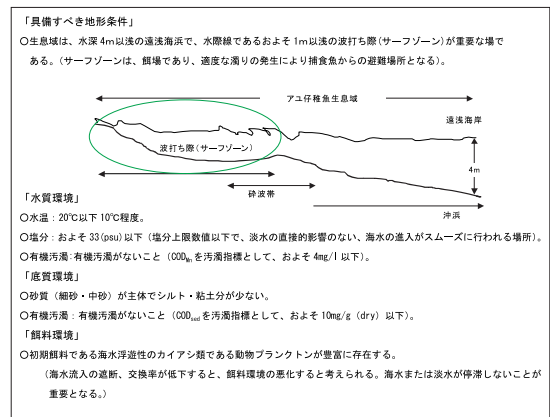
アユ仔稚魚が確認された地区は、底質の有機物量の指標であるCOD<sub>sed</sub>が約10mg/g(dry)以下で、シルト・粘土分の割合が少なく、砂分を主体とした底質であった。採捕数が100個体以上と最も多く確認された地区

は、砂分が90%以上の浅海域であるL-2,-3(人工磯場)、河口右岸の砂浜干潟(R-3)であった。また、河口奥部は、COD<sub>sed</sub>が高い傾向にあり、今後保育場を良好に維持する上で、底質の有機汚濁指標であるCOD<sub>sed</sub>は、重要な監視項目になると考えられた。

③アユ仔稚魚保育場の成立条件

アユ仔稚魚保育場の検討解析および既往資料の整理から、アユの幼稚魚保育場の成立条件は、「アユ仔稚魚が選好する地形条件」の上に「水質」、「底質」、「餌料」の3つの環境条件がうまく噛合って成立するものと考えられた(表-5)。

表-5 アユ幼稚魚保育場の成立条件



2) 多摩川生息アユの由来推定

①アユの海域における生息期間の推定

＜仔稚アユの生息水域＞

遡上稚アユの耳石元素のチャートパターンは、耳石核から縁辺部近くの約400~500 μm付近のSr/Ca比が平均で7前後と低く、中海、宍道湖で採捕された稚アユの平均値に近い値であった。これらから東京湾における仔稚アユは、外海に生息するのではなく、主とする分布域は湾奥部または河口部周辺であることが推察された。

＜アユ仔稚魚の海域における生息期間＞

遡上稚アユの日齢査定から、海域における生息期間は148~208日と推定され、4月中旬の採捕日を考慮すると、天然稚アユの産卵は9月上旬~12月上旬、ふ化日は9月中旬~12月中旬と推測された。

②多摩川に生息するアユの由来推定

＜成魚アユの耳石元素分析による履歴判別＞

産卵期に採捕された成魚アユの耳石におけるSr/Ca比の変動をチャートパターン化したところ、大別すると5つのチャートパターンが得られ、A、B、C、D、Eと略称した(図-11)

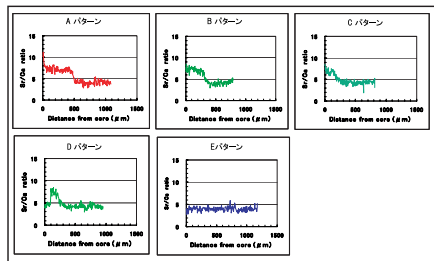


図-11 多摩川成魚アユのSr/Ca比のチャートパターン

チャートパターンによる履歴判別の結果、Aパターンは耳石径400~500 μm付近でSr/Ca比が減少する高知県物部川および伊尾木川、島根県江の川や島根県斐伊川の天然遡上アユのチャートと酷似していた。また、遡上稚アユのチャートパターンのSr/Ca比が7前後を推移していたことから、Aパターンは、天然アユと判断された(図-12)。

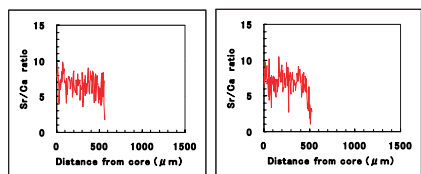


図-12 遡上直後のチャートパターン

一方、B、C、Dパターンは、放流種苗アユの供給先への聞き取り調査による飼育履歴等から、人工産の種苗アユであることが推察され、またEパターンは、耳石中心から縁辺部のSr/Ca比が低レベルで常に推移することから琵琶湖産系のアユと判断された。

＜履歴組成と資源量の推定＞

チャートパターンの履歴判別の結果、調査した50個体の由来は、天然遡上アユは9個体(18%)、人工種苗アユは29個体(58%)、湖産アユ12個体(24%)となった。

一方、平成17年の多摩川における放流実績から、天然の汲み上げ放流20,000尾(3%)を除くと、人工種苗の放流尾数は627,000尾となる。河川における放流種苗と天然アユの生存率が同じで、しかもそれらが均質に河川に出現し、分析した50個体が母集団を反映していると仮定し、放流尾数と混獲割合から天然アユの資源量を推定すると、627,000尾(82%)の放流種苗アユに対して、約138,000尾(18%)の天然アユが調査期間中に存在したと推定された。次に、今回耳石分析したアユの生殖腺体指数(GSI)を測定した結果、十分に再生産可能な成熟個体であり、多摩川本川で再生産している可能性が高いと推測された。

### 3. アユの生息環境情報図の作成

前項までの調査、検討結果を基に多摩川におけるアユの生息環境情報図を河口域版と河川版の2通りを作

成した。記載した内容は以下の通りである。

表-6 アユの生息環境情報図の記載情報

区分	記載内容
河口版	水深コンター図 アユの重要な保育場(サーフゾーン)
河川版	○生息環境 ・産卵場、採餌場、稚魚の生息場 ・自然河岸 ・温排水の影響範囲 ○遡上環境 ・河川横断施設の遡上降下環境の評価

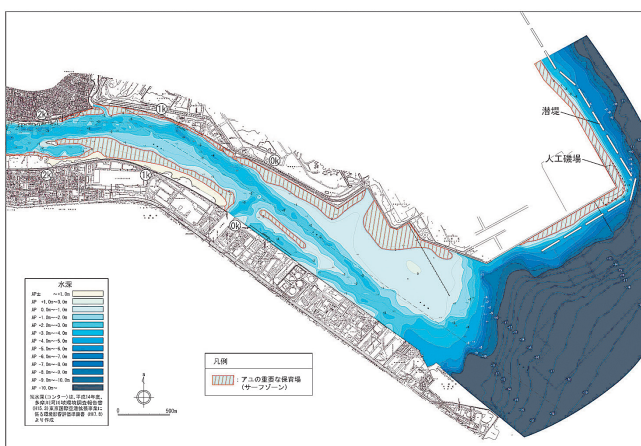


図-13 アユの生息環境情報図(河口)

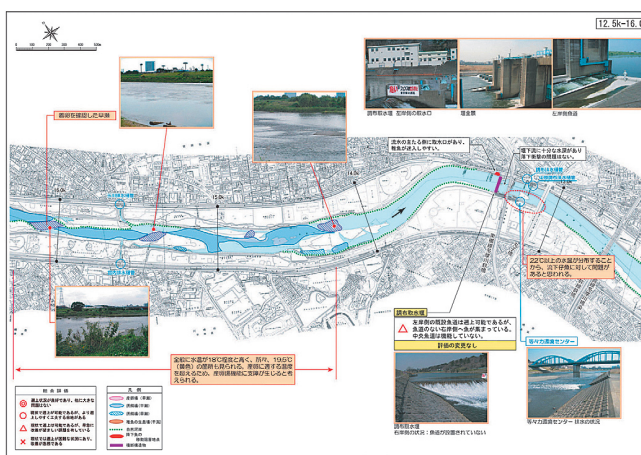


図-14 アユの生息環境情報図(河川)

## 4. 多摩川におけるアユの生息環境の課題抽出

### (1) 産卵環境からみた課題

アユの産卵環境における課題を表-7に示す。

表-7 アユの産卵環境からみた課題

項目	課題
河床材料	全体に細礫、中礫が少なく、粒径が大きい。河川横断施設により土砂が下流へ移動しにくくなっているためと考えられる。
河床の軟らかさ	浮石状態の軟らかい河床が少ない。ただし、出水に

	より良好な河床が得られることが期待できる。
付着藻類	早瀬の付着物が多く、産卵の阻害となっている。河床が動かないため、付着物がフラッシュされにくくなっている。
水温	温排水の影響により、アユの産卵適水温である 13～19℃を上回る水温が産卵区域に広く分布している。

## (2) 仔稚魚の保育環境からみた課題

河口部におけるアユの保育環境の課題を表-8 に示す。

表-8 アユの産卵環境からみた課題

項目	課題
水質	有機汚濁が少ないことが望ましいが、湾奥部では、COD 値が限界濃度に近い値も見られた。
底質	アユの仔稚魚の生育には砂質の底質が望ましいがシルト分が主体の箇所も多く見られる。

## 5. アユの生息環境からみた整備、管理方針の提案

### (1) 産卵環境の整備、管理方針

産卵環境を維持するためには、以下に示すアユの産卵に必要な河床を形成することが望ましい。

- ・淵と連続したカタ部を有する早瀬
- ・浮石状態で付着藻類の無い、きれいな細礫、中礫で構成された軟らかい河床

このため、産卵エリアにおける淵と連続した早瀬を対象に、小砂利の投入と河床の耕耘を行うことが望ましい。

#### ①土砂（小石）の確保

堰上流、または産卵場近傍から砂利を採取し、篩い分けを行い小礫、中礫を産卵場への敷設用として確保する。

#### ②小石の洗浄

投入する小石は、アユの卵が付着しやすいよう水で泥やぬめりを洗い流す。

#### ③河床の耕耘及び小砂利の投入

小砂利の投入方法は、(A) 産卵場の上流側に山積みし、自然拡散させる方法、と、(B) 対象となる早瀬に直接敷き詰める方法、がある。労力は前者の方が小さいが、確実な効果を得るために、直接敷き詰める方法が望ましい。河床を耕耘するとともに、表層に厚さ20cm程度に小砂利を敷き詰める。水深は30cm程度を目安とする。

#### ④実施時期

- ・9月期に対象箇所の造成を行う。
- ・定期的に鋤簾などで河床を掻き起こす。
- ・その後はアユの瀬付（産卵に備えて早瀬の近傍に群れる）を確認したら掻き起こしは行わず、随時、着卵を確認する。

### ⑤実施体制

漁協と連携を図り実施するが、将来的には市民参加による体制を構築することも考えられる。

### ⑥追跡調査

今後の産卵場の維持管理に関する知見を得るために、産卵場の物理環境項目及び着卵状況について追跡調査を行う。

## (2) 幼稚魚の保育環境の整備、管理方針

多摩川河口域が、清流の代表魚種であるアユの良好な仔稚魚の保育場(ナーサリーグラウンド)となっており、特に、遠浅砂浜域に形成される水深1m以浅の波打ち際(サーフゾーン)が本川に遡上する前の重要な生息場になっていることが明らかになった。アユ仔稚魚にとって、サーフゾーンは餌場であり、また捕食魚からの避難場所として機能を有している。

今後、多摩川河口出口、河口奥部の右岸水裏部の土砂(ヨシ帯前面)の経年変化、砂質流出等の動態の把握は、“アユの幼稚魚保育場”を維持・管理する上で、大きな課題となる。

## 5. おわりに

最後に、本報告をまとめるにあたりご指導、ご協力をいただきました国土交通省 京浜河川事務所、東京都水産関係部局の方々に厚くお礼申し上げます。

### <参考文献>

- 1) 石田力三：アユ産卵場の構造とその産卵習性に関する研究 論文要旨，東京大学博士論文，pp1-6
- 2) 石田力三：アユの産卵生態-V，淡水区水産研究所研究報告，17，(1)，(1967)，pp7-19
- 3) 落合ほか：“37・1 アユ”，新版 魚類学(下)，恒星社厚生閣 (1986) pp465-474
- 4) 高橋勇夫ほか(2005)：四万十川のアユを支える河口域(四万十川流域を科学する)，海洋と生物，27(1)，pp18-23
- 5) 海野徹也ほか(2001)：耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定，日本水産学会誌，67，pp647-657
- 6) 清家暁ほか(2002)：耳石Sr/Ca比による高知県伊尾木川および物部川産アユの由来判別，日本水産学会誌(別冊)，68，pp852-858
- 7) 清家暁ほか(2002)：耳石Sr/Ca比による江の川アユ産卵群の由来判別，広島大学大学院生物圏科学研究科紀要，41，pp23-29
- 8) 海野徹也ほか(2005)：耳石Sr/Ca比およびアロザイムによる島根県斐伊川産アユの生態学的研究，日本水産増殖学会，53(2)，pp175-180