

護岸が流れに及ぼす効果および アユの生育場との関連について

1988年

玉井 信行

東京大学土木工学科教授

目 次

| | |
|--------------------------------|----|
| 1. 研究の概要 | 1 |
| 2. 護岸が河川に及ぼす影響 | 2 |
| 2.1 はじめに | 2 |
| 2.2 実験装置 | 2 |
| 2.3 流れ場の変形（固定床における実験と解析） | 3 |
| 2.4 安定河床形状（移動床の実験と解析） | 13 |
| 2.5 おわりに | 21 |
| 参考文献 | 22 |
| 3. 河川における鮎の移動と分散 | 22 |
| 3.1 はじめに | 22 |
| 3.2 なわばり社会の定式化 | 22 |
| 3.3 移流速度と拡散係数の評価 | 26 |
| 3.4 数値解と観測値との比較 | 31 |
| 3.5 おわりに | 32 |
| 参考文献 | 32 |
| 4. 鮎の生息場としての多摩川 | 33 |
| 4.1 調査の目的 | 33 |
| 4.2 調査地域および時期 | 33 |
| 4.3 調査作業について | 34 |
| 4.4 河川形態の分布状況 | 36 |
| 4.5 基準放流密度の算定 | 46 |
| 4.6 アユの放流量，釣果との関係 | 51 |
| 5. ま と め | 68 |

1. 研究の概要

河川環境は人間を含む多くの生物に対して、憩いと生活の場を提供してきた。ここでは多摩川に棲む遊泳生物の代表としてアユを取り上げ、アユの生活にとって望ましい河川の流れとは何かを考える。一方、道路建設とか洪水防禦という社会活動上の要請から、堤防および路肩部に護岸工事が施されることが多くなり、その範囲は徐々に河川の上流域にまで及んでいる。しかしながら、このような建設工事が流れに与える影響、河川形態を変化させる影響力、ひいては魚の生活に如何に影響を与えるかについては定性的な議論が為されているに過ぎない。こうした影響を定量的に論じる試みは殆んど行われておらず、資料も皆無に近いと言ってよい。

本研究では上述のような認識の下に、完成した護岸工事により河川の流れがどのように変化するかの算定法を得ることを目的とした。また、多摩川上流域で調査を行い、河川形態および魚獲努力と棲息条件との両方で定まるアユの釣果などの関係を通して、河相とアユの棲息の実態を把握しようとした。

本研究は昭和61年度および62年度にわたって「とうきゅう環境浄化財団」による多摩川流域の環境浄化に関する調査・試験研究助成金の助成の下に行われた。調査・研究の組織は下記の通りである。

研究代表者：

玉井信行 東京大学教授，土木工学科

研究分担者：

浅枝 隆 東京大学助教授，土木工学科

廣沢佑喃 東京大学助手，土木工学科

石田力三 東海区水研資源研究室長

田中米満 東京都水試奥多摩分場，主任研究員

菅 和利 芝浦工業大学講師，土木工学科

池田裕一 東京大学技官，土木工学科（現 宇都宮大学助手）

この他、現地調査に当っては東京大学河川・応川水理研究室、芝浦工業大学水工研究室の学生諸君の協力を得た。

調査の対象区間は多摩川本川の羽村堰上流の約20kmであり、この区間の河川形態を早瀬・平瀬・洲に分類しつつ、それぞれの水域の長さ、面積、河床材料、代表水深、代表流速などの測定を行った。東京都水産試験場が先年行った水産調査の資料と併せて、多摩川におけるアユ漁場の概要を把握した。護岸工が流れに与える影響の基礎的研究は東京大学土木工学科水工実験室で行われた。実験は固定床水路および移動床水路において実施され、水深方向に平均化された水量に対する理論的解析と比較検討され、解析の妥当性が検証された。

2. 護岸が河川に及ぼす影響

2.1 はじめに

実河川においては、側岸の保護・流路の固定などのために、種々の水制を用いて護岸を施す場合が多い。また近年では、水制状のものを河道内に設置することにより、流速を弱めさらに土砂の堆積を促して、種々のアメニティの用に資することを目的にしたものも現れ始めた。

水制の存在する領域では、水流は水制から付加的な抗力を受け、流速が減少する。また、細かく浮遊しやすい非粘着性の土砂からなる砂床河川では、水制領域においてかなりの土砂が堆積することが予想される。このような場合には、単に流れ場だけでなく河川形態まで変化してしまうことになり、これは単に狭い意味での河川工学上の問題ではなく、河川を生活の場とする生物を考える際にも非常に重要な問題となる。

そこで、水制護岸を付設した際の、流れ場と河床形状の変化の予測手法を考えるために、実験および解析を行なった。水制としては最も単純な円柱群を用い、これを水路の片側全域に設置して簡単化した現象を取り扱うことにする。

2.2 実験装置

実験には、幅50cm・高さ20cm・長さ15mの木製可変勾配水路を自作して、これを使用した。この水路系は三角堰・上流端水槽・水路部・下流端水槽・ポンプからなる回流型であり、その概要を図2.1に示す。

三角堰は流量測定用のものであり、これから流れ出た水は一旦上流端水槽に落ちた後に、水路に流れ込むようになっている。上流端水槽では、三角堰から流れ出た流れが水路の流入口付近の流れを乱さないように整流板を設置してある。また、水路流入口にはベルマウスを付設し流れが滑らかに入るようにした。水路部は、その勾配が一定となるように調節され、今回の場合その勾配は $1/390$ である。

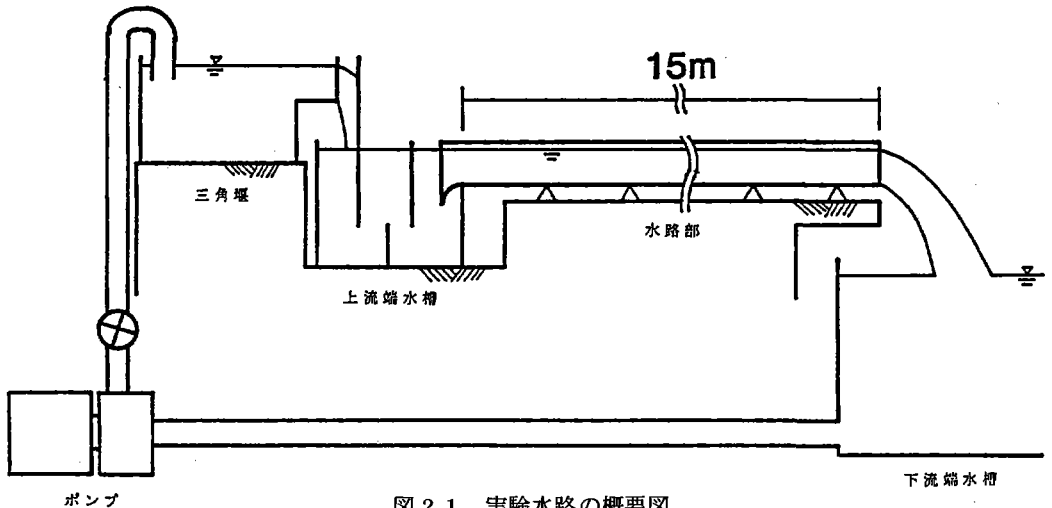


図 2.1 実験水路の概要図

ポンプは移動床実験も行なうことを考えて、砂などの固形物に強い汚泥用のポンプを使用した。

円柱型水制は直径 1 cm 長さ 1.8 cm のものを、水路の片側半分に下流端から上流端の 1 m 手前まで千鳥配置で様に配置した(図 2.2)。円柱の配置の仕方は他に格子型配置などが考えられるが、今回は円柱の効果が水制領域で均等となるように千鳥型を採用した。また円柱の間隔は、円柱の相互干渉が小さく、かつ流れに対する影響が大きくなるような配置を考え、これまでの報告を参考にして $L = 1 = 5\text{ cm}$ とした。なお以後は、水制の存在する領域を領域 1、存在しない領域を領域 2 と呼ぶことにする。

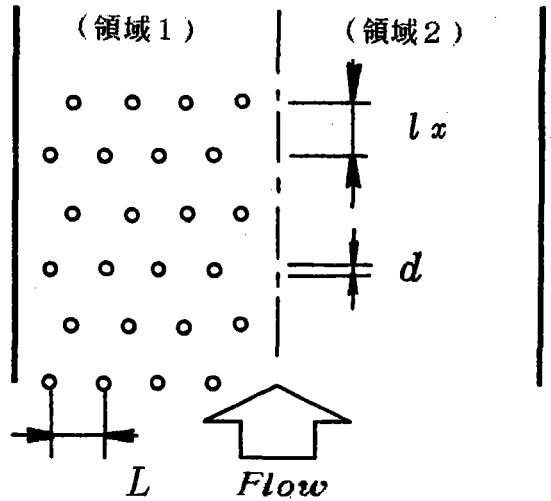


図 2.2 円柱型水制の配置

2.3 流れ場の変形（固定床における実験と解析）

流れの中に水制護岸を設置すると、その領域では水制から受ける抗力のために流速が大幅に減少する。従って、水制が設置されている領域と設置されていない領域との遷移領域では、流速が横断方向に急激に変化することになる。その結果、水流内部での横断方向の運動量輸送が活発になり、流れは複雑な様相を呈するようになる。

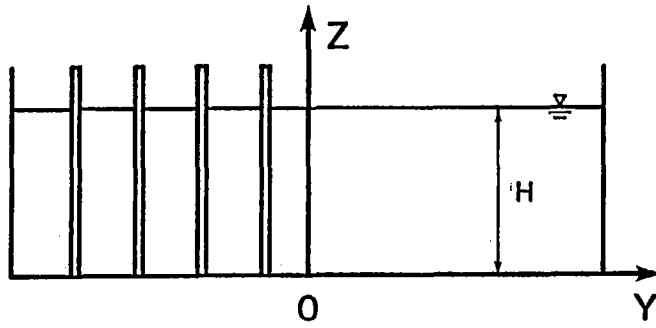
そこで、移動床の流れを考える前にまず、水深が一樣な固定床の場合を考え、水制護岸の設置により変形を受けた横断方向の流速分布を定式化し、実験を行う。そして、

- (1) 水制によって流れに作用する抵抗
- (2) 遷移領域の特性を決定づける横方向の渦動粘性係数

の 2 点に着目して考察を加えることにする。

2.3.1 座標系および記号の定義

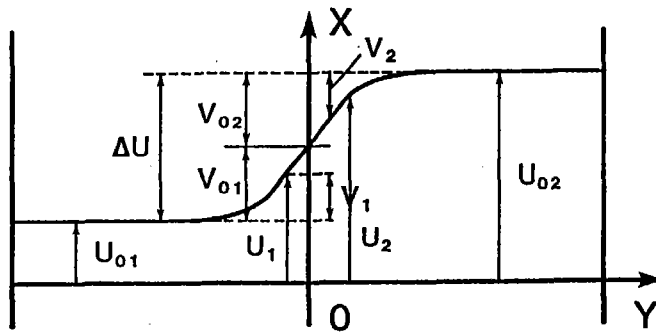
ここで考えている流れは、片路片側全域に様に円柱が配置されているものなので、座標系は図 2.3 に示す通り、 (y, z) 平面で定義される 2 次元座標系とする。流速に関する記号については 2.3.2 以降で説明する。



水路横断面

領域 1

領域 2



流速分布

図 2.3 座標系(固定床)

2.3.2 水深平均流速の横断方向分布の定式化

水深平均流速，すなわち流速を水深方向に平均したものの横断方向の変化を解析するに当たり，次のような仮定をおく。

- (1) 水路幅は水深に比べて十分に広い。つまり，水路の側壁の影響は小さく，流体に作用する摩擦応力は底面摩擦のみとする。
- (2) 水制領域においては，円柱の効果は離散的なものではなく，その領域において均等に配分されているものとする。
- (3) 横断方向の渦動粘性係数は流れ場全体で一定とする。

そして，水制が存在する領域（領域 1）と存在しない領域（領域 2）のそれぞれに対して運動方程式をたてると，等流の場合に

$$\text{領域 1 : } \rho g H i \cdot L \ell \beta y - \left(\tau_1 L \ell \beta y + \frac{1}{2} \rho C_D A U_1^2 \right) + \rho \nu_T H \frac{d^2 U_1}{d y^2} L \ell = 0 \quad (2.1)$$

$$\text{領域 2 : } \rho g H i - \tau_2 + \rho \nu_T H \frac{d^2 U_2}{d y^2} = 0 \quad (2.2)$$

となる。ここで、 ρ : 流体の密度、 g : 重力加速度、 H : 水深、 i : 水路床勾配、 U_i : 領域 i の横断方向流速分布、 τ_i : 領域 i の底面剪断力、 ν_T : 横断方向の渦動粘性係数、 d : 円柱の直径、 A : 円柱の投影面積 (= dH)、 C_D : 円柱の抗力係数、 L : 円柱の横方向の間隔、 l : 円柱の流れ方向の間隔、 β_y : 円柱の存在によって排除される水路床面積の補正係数、である。式 (2.1)、(2.2) においてそれぞれ、第1項は重力、第2項は底面剪断力、第4項・第3項は横断方向の運動量輸送、また式 (2.1) の第3項は円柱から受ける抗力を表している。底面剪断力 τ_i は次のように書けるとする：

$$\tau_i = \frac{1}{2} \rho f_i U_i^2 = \rho g \frac{n_i^2 U_i^2}{H^{1/3}} \quad (2.3)$$

ここに、 f_i : 領域 i の底面摩擦係数、 n_i : 領域 i の Manning の粗度係数である。

さらに、境界条件としては、漸近的条件と2領域の境界における流速・剪断力の連続条件として次のものを与える。

$$y \rightarrow \infty : U_2 \rightarrow U_{02} \quad y \rightarrow -\infty : U_1 \rightarrow U_{01} \quad (2.4)$$

$$y = 0 : U_1 = U_2 \quad (2.5)$$

$$y = 0 : \frac{dU_1}{dy} = \frac{dU_2}{dy} \quad (2.6)$$

以上式 (2.1) ~ (2.6) により、1つの境界値問題が設定できた訳だが、これは非線形方程式系であり、解析的には容易には解くことが出来ない。そこで、山崎ら(1984)にならって、

$$U_1 = U_{01} + v_1 \quad (2.7)$$

$$U_2 = U_{02} - v_2 \quad (2.8)$$

とし、 v_1 と v_2 の2次の微小項を無視してこれを解くと次の表式を得る。

$$U_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} (U_{02} - U_{01}) e^{\lambda_1 y} \quad (2.9)$$

$$U_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} (U_{02} - U_{01}) e^{\lambda_2 y} \quad (2.10)$$

ただし、

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{2 g i \beta y}{\nu_T U_{01}}} \quad (2.11)$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{2 g i}{\nu_T U_{02}}} \quad (2.12)$$

である。

ここで問題となるのは、渦動粘性係数 ν_T をいかに評価するかであるが、今回は田中ら¹⁾ にならって、次のようにおく。

$$v_T = \gamma (v_{01} b_1 + v_{02} b_2) \quad (2.13)$$

ここに、 v 、 b_i はそれぞれ領域 i の境界面における欠損流速、排除厚さ ($= 1/\lambda_i$) である。また、 λ は比例定数であり、この値がいかほどになるかは実験により考察を加えることにする。

2.3.3 実験方法

実験は、設定した流量に対して水路下端の堰の高さを適宜調整して、疑似等流状態をつくってから行なった。疑似等流状態であることは、水路中央付近の何地点かで水深をポイントゲージを用いて測定し、これを確かめた。

流速の測定は直径 3 ミリのプロベラ式流速計を用いて行なった。流速の変動が大きい場合には、20 秒測定したデータを 100 msec 間隔で AD 変換し、その時間平均を求めた。測定断面は、下流端より約 6 m 上流の地点で、円柱を横断方向に 1 列はさむような 2 断面とし (図 2.4)、この前後 2 断面の平均をとり、横断方向の流速分布とした。

なお、実験条件と測定された主な水理量を表 2.1 に示す。

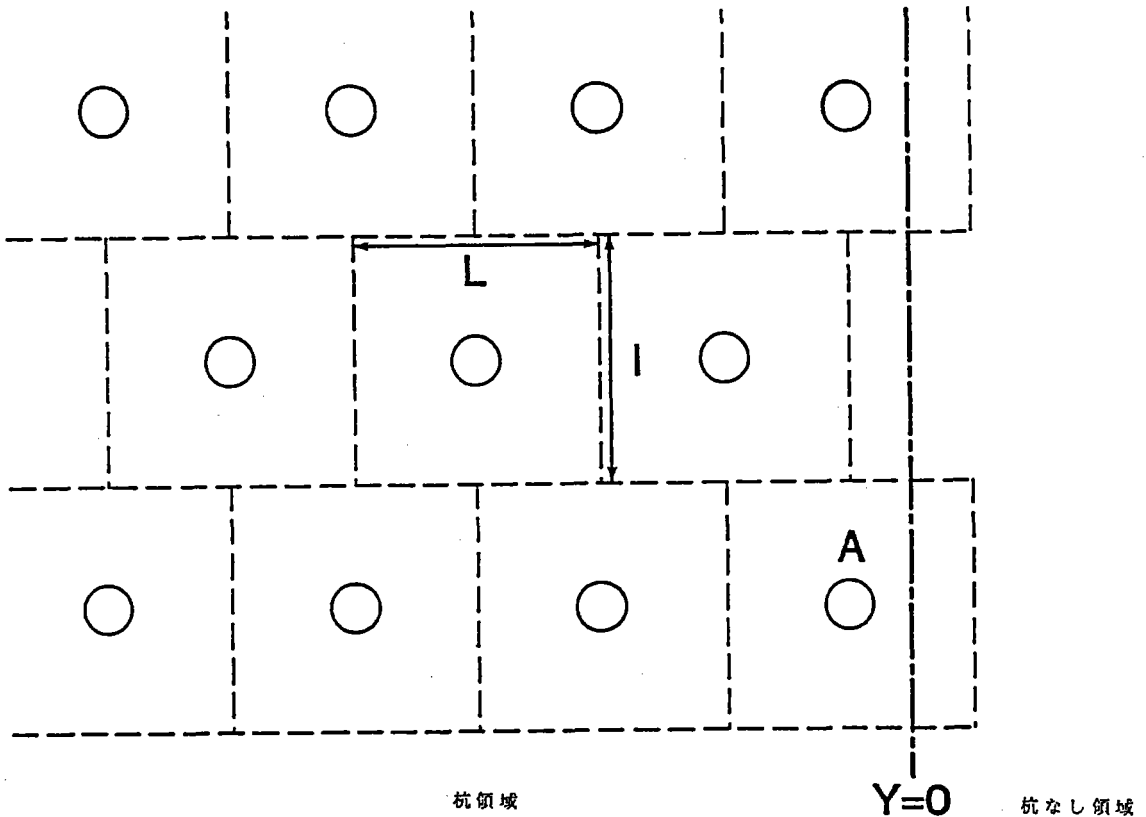


図 2.4 円柱一本あたりのコントロールボリューム

表 2.1 実験条件(固定床)

| Run | F - 1 | F - 2 | F - 3 | F - 4 | F - 5 | F - 6 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水理量 | | | | | | |
| Q (ℓ/s) | 14.10 | 10.90 | 8.72 | 5.99 | 3.27 | 1.58 |
| i | 1/390 | 1/390 | 1/390 | 1/390 | 1/390 | 1/390 |
| H (cm) | 10.68 | 8.02 | 6.75 | 5.39 | 3.12 | 1.83 |
| U ₀₁ (cm/s) | 8.97 | 9.10 | 8.81 | 8.05 | 8.38 | 8.19 |
| U ₀₂ (cm/s) | 48.13 | 49.64 | 47.70 | 40.36 | 38.15 | 29.49 |
| n (m-s) | 0.0237 | 0.0190 | 0.0176 | 0.0179 | 0.0132 | 0.0119 |
| ν _T (cm ² /s) | 2.21 | 2.07 | 1.88 | 2.15 | 2.66 | 4.17 |
| γ | 0.0148 | 0.0136 | 0.0138 | 0.0193 | 0.0239 | 0.0472 |
| λ ₁ (1/cm) | 0.496 | 0.508 | 0.542 | 0.530 | 0.467 | 0.378 |
| λ ₂ (1/cm) | 0.217 | 0.221 | 0.237 | 0.241 | 0.223 | 0.202 |
| V ₀₁ (cm/s) | 11.94 | 12.29 | 11.82 | 10.09 | 9.60 | 7.43 |
| V ₀₂ (cm/s) | 27.22 | 28.25 | 27.07 | 22.22 | 20.17 | 13.87 |

2.3.4 流速分布

水深方向に平均した横断方向流速分布を図 2.5 (a)～(f)に示す。図中の●は測定値を表し、実線は式(2.9), (2.10)を描いたものである。ここで、 λ_1, λ_2 に含まれる($f_1 \cdot L \beta y + C_D d H$)と f_2 なる抵抗因子は、 U_{01}, U_{02} が測定値と一致するように設定してある。また渦動粘性係数は、式(2.9), (2.10)が測定値とよく一致するような値を与えている。これから、抗力係数・渦動粘性係数・底面摩擦係数が適当に評価することが出来れば、流速分布をかなり満足できる程度まで再現できることがわかる。

2.3.5 抗力係数

今回の実験では、抗力係数は次のようにして求めた。すなわち測定値から得られた水制の存在しない領域2の底面摩擦係数 f_2 から領域2の粗度係数 n_2 を求める。そして、 $n_1 = n_2$ として f_1 を評価し、測定値から求めた λ_1 の抵抗因子($f_1 \cdot L \beta y + C_D d H$)と併せて、 C_D を算定するのである。こうして求められた抗力係数とレイノルズ数との対応を図 2.6に示す。図中、本研究で得られたデータは○(固定床)および●(移動床)で示してある。×は秋草ら²⁾が水路幅全域に円柱群を配した際の測定値であり、また実線は一様流中に1本の円柱を置いた際の抗力係数の変化を示している。

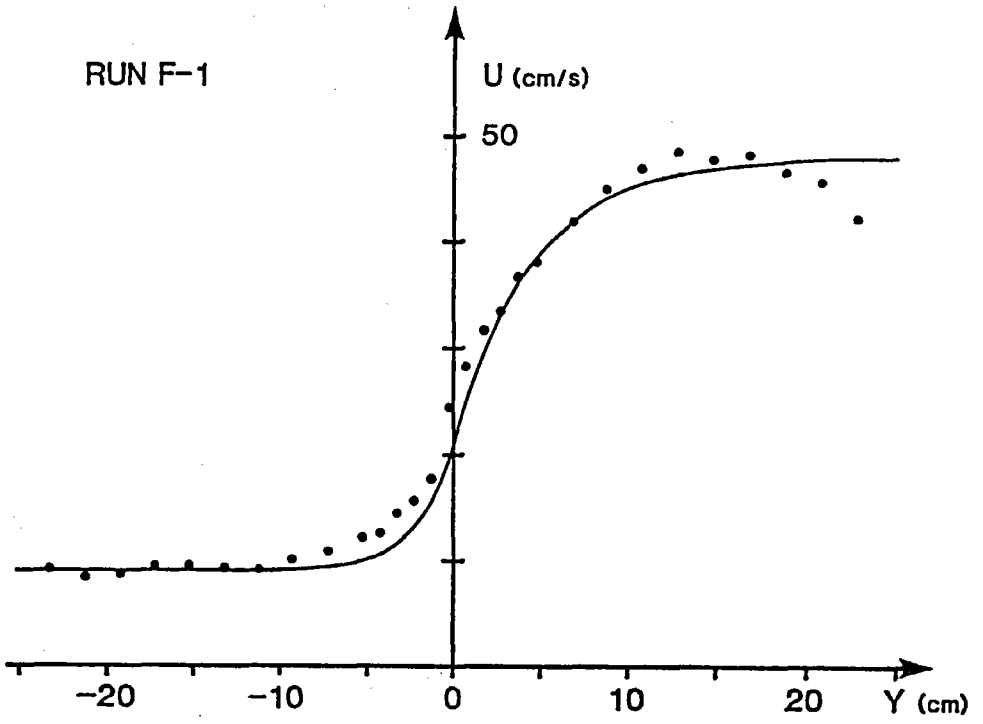


图 2.5(a) 实验结果 (流速分布)

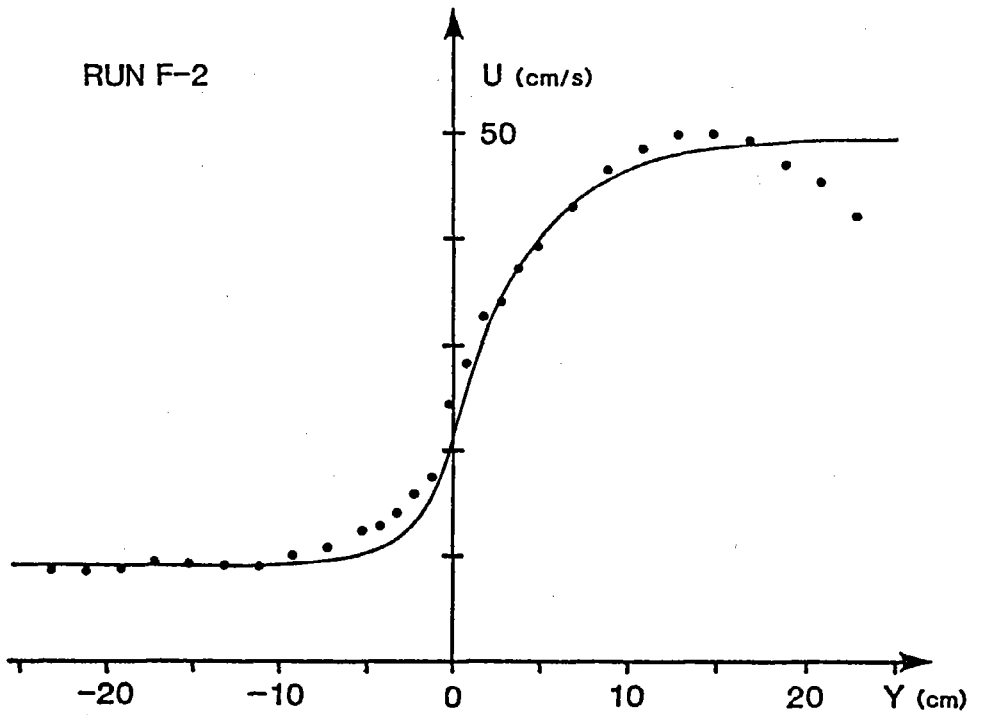


图 2.5(b) 实验结果 (流速分布)

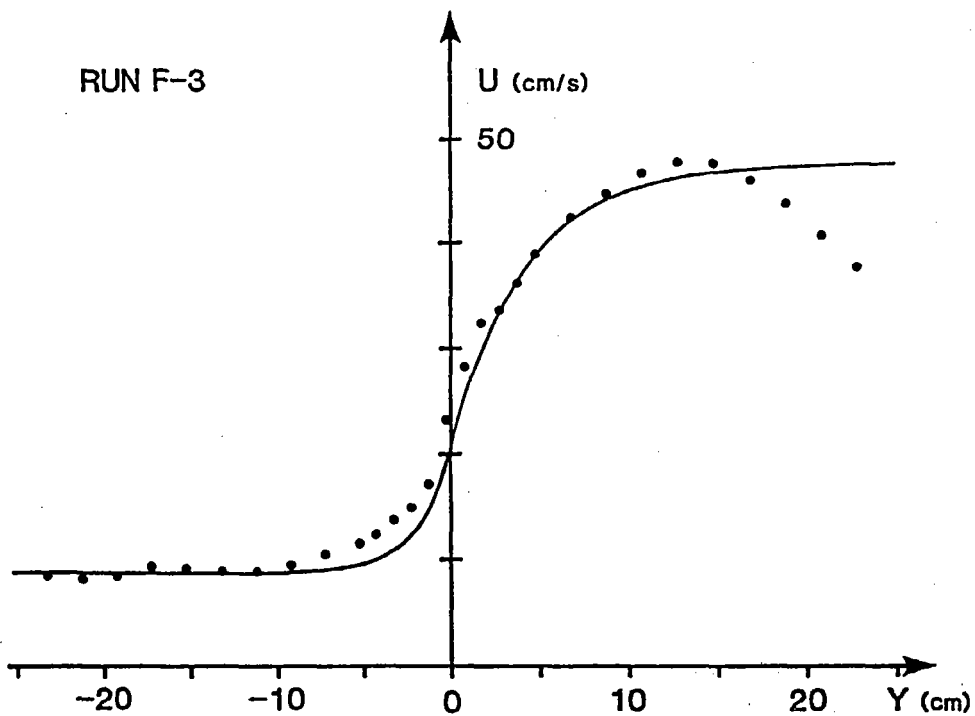


图 2.5(c) 实验结果 (流速分布)

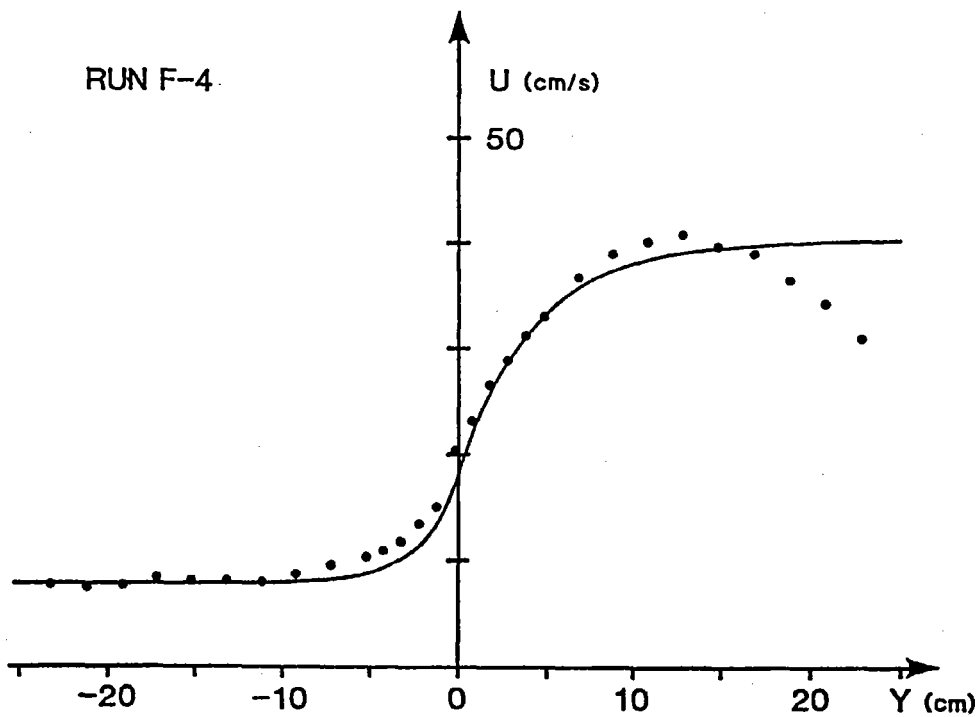


图 2.5(d) 实验结果 (流速分布)

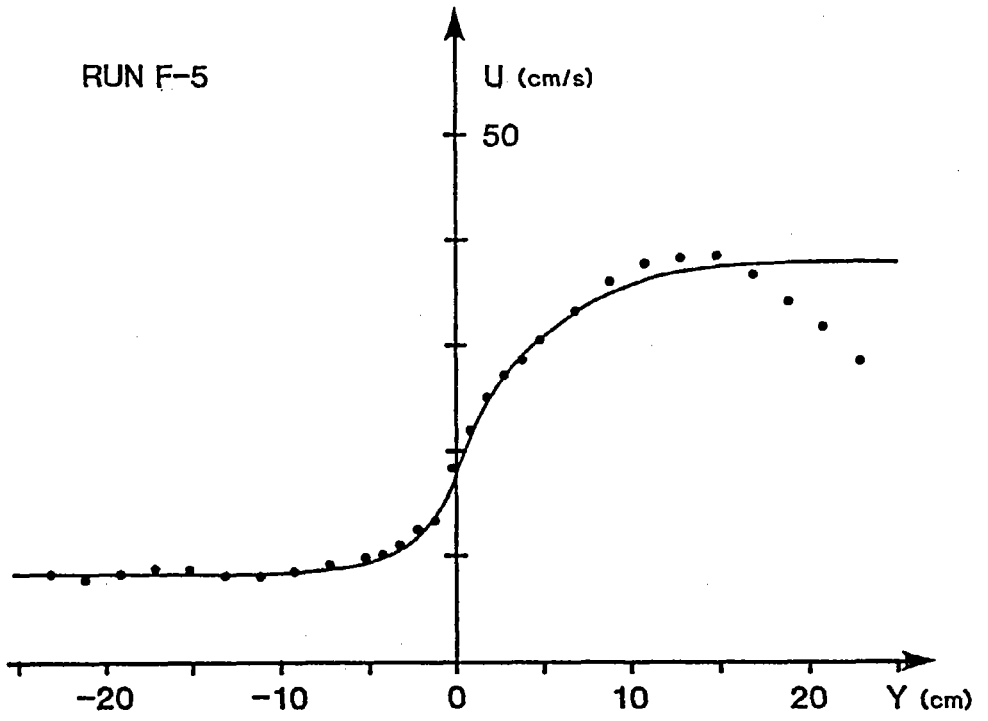


图 2.5(e) 实验结果 (流速分布)

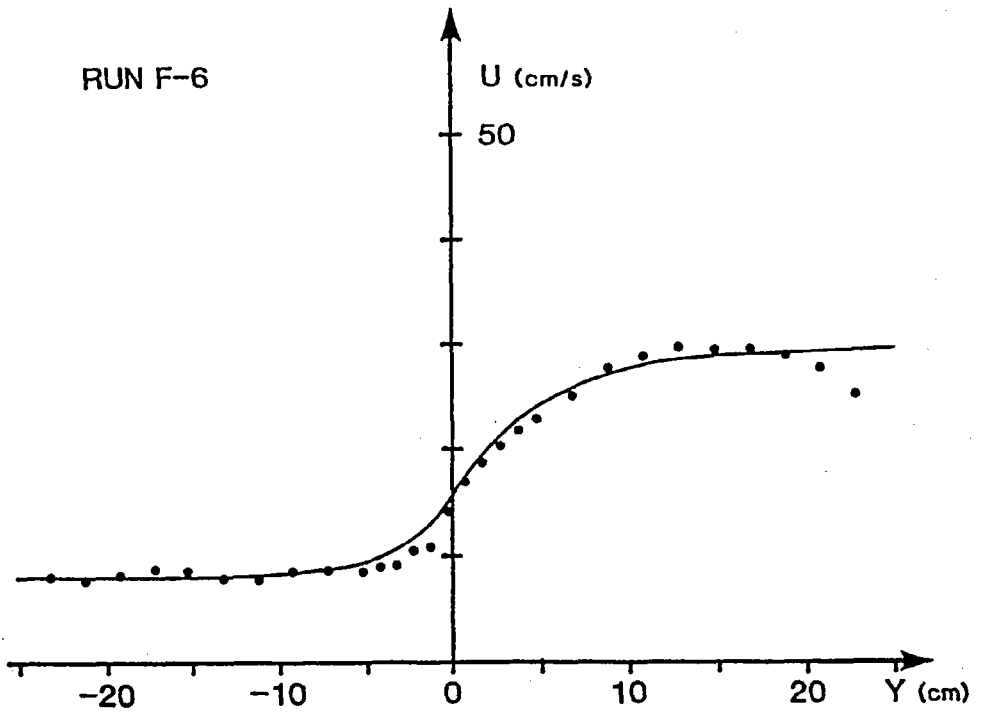


图 2.5(f) 实验结果 (流速分布)

図 2.6 を見ると、今回の実験で得られた抗力係数はかなりバラついており、その平均値も 1.56 と、秋草らの一様円柱群や単独円柱の場合と比べてかなり大きな値をとることがわかる。この理由は、単に実験誤差と言うわけではなく、次のようなことが考えられる。図 2.7 は、水路中央から 1.9 cm 離れた地点での流速の時間変化を示したものである。流速が平均流速の半分程度の振幅で変動しているのがわかる。今回の抗力 F の定式化は、平均流速のみを用いて

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D U^2 \quad (2.14)$$

としているが、本来は流速に関する非線形性のため、流速の変動強度 U' をも考慮して

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D (U^2 + U'^2) \quad (2.15)$$

とすべきなのである。秋草らの実験のような一様円柱群への接近流の平均流速がその変動成分よりも十分に大きければ、式 (2.15) は式 (2.14) で良く近似できる。しかし、今回のように、流れの速い領域と遅い流れが接しているような場合には、その境界部に形成された剪断層において大きな渦動が発生し、流速変動の寄与はもはや無視し得ないものになっている。これを式 (2.14) のままで扱おうとすると当然、流速変動が大きい分だけ抗力係数が過大に評価されることになるのである。

このように、河道の一部に水制を付設すると、水路幅全域に水制を設置した場合と異なり、水制の

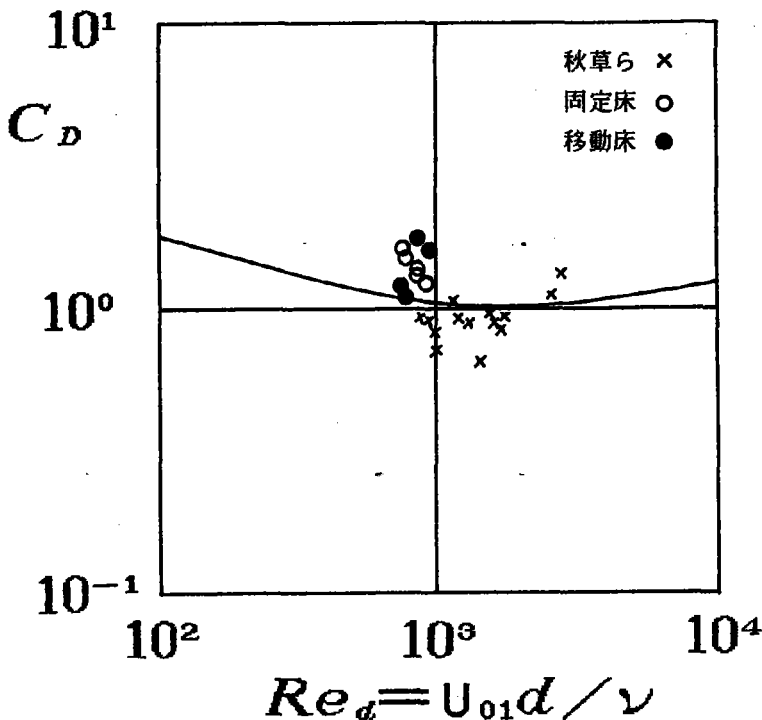


図 2.6 レイノルズ数による抗力係数の変化

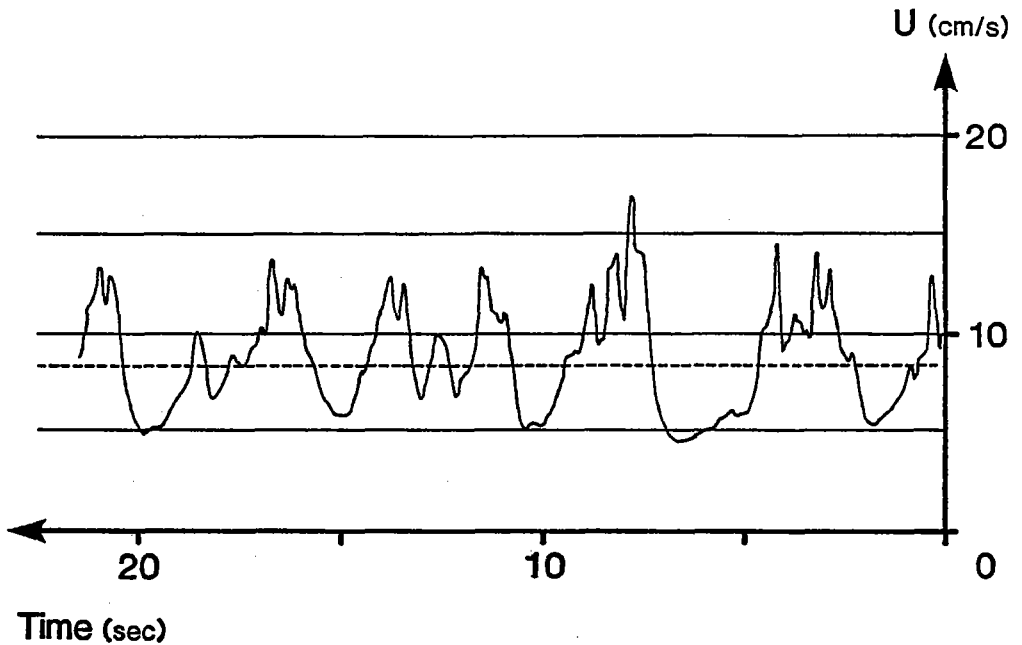


図2.7 流速変動の一例

存在する領域と存在しない領域との流速差のために大きな渦動すなわち流速変動が生じ、水制により生じる抗力を式(2.14)では正しく表せなくなってしまう。しかしながら、現段階においてはこの流速変動を事前に予測することはきわめて困難であり、以後は抗力係数に流速変動による補正係数が含まれていると考えて、実験から求めた抗力係数をそのまま用いることにする。

2.3.6. 渦動粘性係数

渦動粘性係数および比例定数 γ の値は、表2.1に示す通りである。田中らによると、 γ の値は2次元流れのものとほぼ同じで、0.03~0.04であるとしている。今回の実験では、 γ はオーダーこそ同じながら0.0125~0.0707とその値は大きくバラついており、一定の値を定めることはできない。この原因としては、

- (1) 水路幅が水深に大して十分広くなかった。
- (2) 円柱が存在するために遷移領域の乱流構造が単純な2次元剪断層とは異なる。
- (3) 式(2.13)の表式が適当でなかった。

などが考えられるが、いずれも本研究の最終目的である横断面河床形状の予測とは性格が異なるテーマであり、今回は今後の詳細な検討を示唆するにとどめて、以後は流速分布の測定から得られた渦動粘性係数を直接用いることにする。

2.4 安定河床形状（移動床の実験と解析）

2.4.1 座標系および記号の定義

ここで考えるのは2.3と同様な、水路片側全域に円柱群を千鳥配置した移動床での流れである。この場合も流れは流下方向に変化しないと考えられるので、図2.8に示すような (y, z) 座標系を考える。ただし z 軸は水面を基準に鉛直上方を正とする。

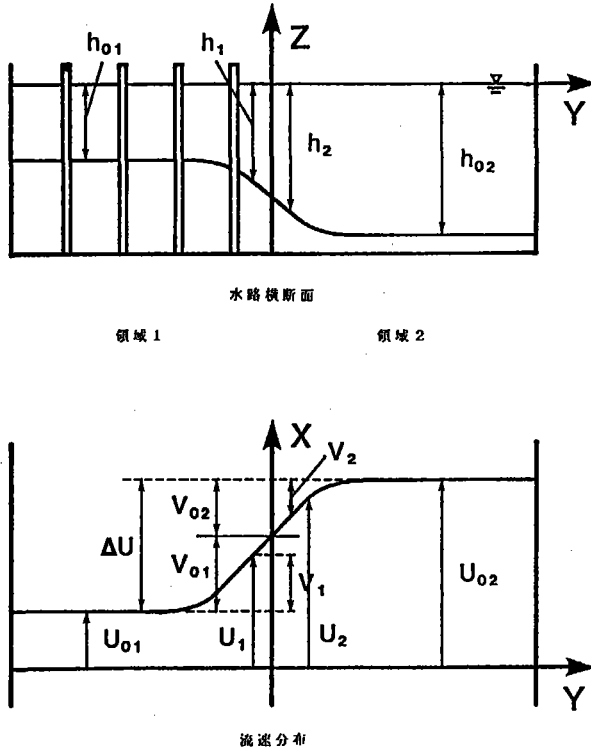


図 2.8 座 標 系 (移 動 床)

2.4.2 基礎方程式

2.3においては水深は一定であったが、水深も横断方向に変化する場合には運動方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \text{領域 1 : } \quad & \rho g h_1 i \cdot L \ell \beta y - (\tau_1 L \ell \beta y + \frac{1}{2} \rho C_D A U_1^2) \\
 & + \rho \nu_T \frac{d}{dy} (h_1 \frac{dU_1}{dy}) \cdot L \ell = 0 \quad (2.16)
 \end{aligned}$$

$$\text{領域 2 : } \quad \rho g h_2 i - \tau_2 + \rho \nu_T \frac{d}{dy} (h_2 \frac{dU_2}{dy}) = 0 \quad (2.17)$$

ここで、 h_i は領域 i の水深であり、 τ_i は式 (2.3) と同様に定義される。遷移領域から十分離れた地点での漸近値に添え字 0 を付け、2.3. と同様に

$$h_1 = h_{01} + h_1, \quad U_1 = U_{01} + v_1 \quad (2.18)$$

$$h_2 = h_{02} - h_2, \quad U_2 = U_{02} - v_2 \quad (2.19)$$

とおき、式 (2.16)、(2.17) に代入する。そして、簡単のため h'_i 、 v_i の 2 次の微小項を無視すると次式を得る。

$$-\frac{1}{2} \rho f_1 (2 U_{01} v_1) L \ell \beta y - \frac{1}{2} \rho C V A (2 U_{01} v_1) + \rho \nu T \frac{d^2 v_1}{dy^2} h_{01} = 0 \quad (2.20)$$

$$\frac{1}{2} \rho f_2 (2 U_{02} v_2) L - \rho \nu T h_2 \frac{d^2 v_2}{dy^2} = 0 \quad (2.21)$$

次に動的平衡状態に達した際の土砂輸送を考えると、横断方向の浮遊砂フラックスと流砂フラックスが釣り合っていることになる (Parker³⁾)。すなわち、

$$\epsilon_y \frac{d}{dy} \int_{-h+a}^0 C dz + q_{BL} = 0 \quad (2.22)$$

である。ここで、 ϵ_y : 横断方向の渦動拡散係数、 C : 浮遊砂濃度、 q_{BL} : 横断方向の掃流砂フラックスである。

渦動拡散係数 ϵ_y はここでは単純に

$$\epsilon_y = \nu T \quad (2.23)$$

とおく。浮遊砂濃度 C は、砂粒子の沈降速度 v_s と鉛直方向の渦動拡散係数 ϵ_z を用いて近似的に

$$C = C_a \exp \left\{ -\frac{v_s}{\epsilon_z} (z + h - a) \right\} \quad (2.24)$$

と書ける。ここに、 a は規準点高さであり、 $a = 0.05 h$ とする。また、 C_a は基準点濃度で、今回は池田ら⁴⁾ の提案する

$$C_a = 2.31 \times 10^{-2} \left(\frac{U_*}{v_s} \right)^{1.60} \quad (2.25)$$

を用いることにする。ただし、 U_* は摩擦速度である。なお、 ϵ_z は Engelund⁵⁾ の式を使用する。

$$\epsilon_z = 0.0077 U_* h \quad (2.26)$$

次に、横断方向の掃流砂フラックス q_{BL} は

$$\frac{q_{BL}}{q_B} = \tan \delta + \frac{1 + \mu r}{\mu} \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \tan \theta \quad (2.27)$$

と表される (Parker⁶⁾)。ここに、 q_B : 流れ方向の掃流砂フラックス、 δ : 河床付近の流体の動きと流下方向のなす角、 μ : 動摩擦係数、 r : 揚力係数と抗力係数の比、 τ_* : 無次元底面剪断力 ($= \rho U_*^2 / \rho g R d_{50}$)、 τ_{*c} : 無次元限界掃流力、 $\tan \theta =$ 横断方向の河床勾配 ($= dh / dy$)

である。また、 $R = \rho_s / \rho - 1$ 、 ρ_s ：砂粒子の密度、 d_{50} ：50%粒径である。今回は2次流を考えていないので、 $\delta = 0$ とする。また q にはEinsteinの掃流砂関数を十分に近似した式

$$q_B = 11.2 \sqrt{Rg d_{50}^3} \left(\frac{\tau_* - \tau_{*c}}{\tau_*^3} \right)^{0.3} \quad (2.28)$$

を用いる(Parker⁷⁾)。

以上、(2.23)、(2.24)、(2.27)などを(2.22)に代入すると

$$\begin{aligned} & \left[11.2 \frac{2 + \mu r}{\mu} \sqrt{Rg d_{50}^3} \sqrt{\frac{\tau_* c}{\tau_*}} \left(\frac{\tau_* - \tau_{*c}}{\tau_*^3} \right)^{4.5} \right. \\ & \quad \left. + \varepsilon y \frac{\varepsilon z}{v_s} \left(1 - \exp\left(-0.95 h \frac{v_s}{\varepsilon z}\right) \right) C_o \frac{4}{15} \frac{U}{h} \frac{U^{1.6}}{h^{19/15}} \right. \\ & \quad \left. - 0.95 \varepsilon y C_a \exp\left(-0.95 h \frac{v_s}{\varepsilon z}\right) \right] \frac{dh}{dy} \\ & = \left[\varepsilon y \frac{\varepsilon z}{v_s} \left(1 - \exp\left(-0.95 h \frac{v_s}{\varepsilon z}\right) \right) C_o \cdot 1.6 \frac{U^{0.6}}{h^{4/15}} \right] \frac{dU}{dy} \end{aligned} \quad (2.29)$$

を得る。

具体的な計算方法は次のようである。まず、領域2での漸近水深・流速を与える。次に、領域1での漸近水深・流速を仮定し、方程式系(2.20)、(2.21)、(2.29)を境界条件

$$y \rightarrow \pm \infty : U_i \rightarrow U_{oi}, \quad h_i \rightarrow h_{oi} \quad (2.30)$$

$$y = 0 : U_1 = U_2 \quad (2.31)$$

$$y = 0 : \frac{dU_1}{dy} = \frac{dU_2}{dy} \quad (2.32)$$

$$y = 0 : h_1 = h_2 \quad (2.33)$$

の下に解く。そして、全流量が計測値と等しくなるように、計算を繰り返すのである。

2.4.3 実験方法

河床材料としては豊浦標準砂(平均粒径0.2mm、水中安息角35°、沈降速度2.53cm/s)を使用した。これをまず、水路上に厚さ10cmに一樣に敷いて初期河床を形成した。水路に通水した後は、河床形状が平衡安定状態に達するまで約一日間放置し、水深の時間変化を数点で測定することにより、これを確認した。

横断面内の河床形状および流速分布は2.3の実験と同様に、下流端より約6mの地点で測定した。河床形状の測定にはサーボ式砂面計を、流速分布にはプロベラ流速計を用いた。

なお、実験条件と代表的な水理量を表2.2に示す。

表 2.2 実験条件 (移動床)

| Run | M-1 | M-2 | M-3 | M-4 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Q (l/s) | 1 2.2 8 | 9.1 7 | 5.4 0 | 3.3 3 |
| i | 1 / 3 0 3 | 1 / 6 3 7 | 1 / 4 9 0 | 1 / 2 6 0 |
| h_{01} (cm) | 5.5 4 | 4.9 2 | 3.5 7 | 3.4 1 |
| h_{02} (cm) | 9.3 7 | 1 0.3 8 | 6.9 8 | 4.7 5 |
| U_{01} (cm/s) | 8.7 6 | 7.5 4 | 7.9 4 | 8.7 6 |
| U_{02} (cm/s) | 5 3.8 8 | 3 4.0 7 | 2 8.2 5 | 2 2.0 8 |
| n ($m-s$) | 0.0 2 2 0 | 0.0 2 5 7 | 0.0 2 7 1 | 0.0 3 6 8 |
| ν_T (cm^2/s) | 4.2 6 | 2.4 5 | 3.2 9 | 1.9 2 |
| γ | 0.0 1 9 1 | 0.0 2 1 3 | 0.0 4 4 9 | 0.0 7 0 7 |
| λ_1 ($1/cm$) | 0.4 1 0 | 0.4 0 2 | 0.4 3 2 | 0.6 5 9 |
| λ_2 ($1/cm$) | 0.1 6 8 | 0.1 9 2 | 0.2 3 3 | 0.4 2 2 |
| v_{01} (cm/s) | 1 3.1 1 | 8.5 8 | 7.1 1 | 5.2 0 |
| v_{02} (cm/s) | 3 2.0 0 | 1 7.9 5 | 1 3.2 0 | 8.1 3 |
| CD | 1.9 3 | 1.2 4 | 1.1 4 | 1.8 0 |

2.4.4 流速分布

図 2.9 (a)~(d)に移動床実験における流速分布を示す。各種パラメーターの値は 2. 3. 4. と同様な方法で決定した。移動床の場合も固定床と同様に、計測値と理論曲線はよく適合している。しかしながら、これも移動床の場合と同じく抗力係数や比例定数 γ の値には問題が残っており、今後詳細な検討が要請されるところである。

2.4.5 平衡河床形状

横断面内の河床形状を図 2.1 0 (a)~(d)に示す。図中の●は測定値を表し、実線は理論曲線を描いたものである。測定値と理論曲線を比較すると、領域 1 における漸近水深が多少食い違うものの、水深の遷移領域の位置・幅は非常によく一致している。

図 2.1 1 は、領域 1 の漸近水深の理論値と計算値を比較したものである。これを見ると、ばらつきはあるものの、全体としてその値・傾向をよく説明しており、基本的には、今回定式化したメカニズムは実際の現象を良く反映していると言える。

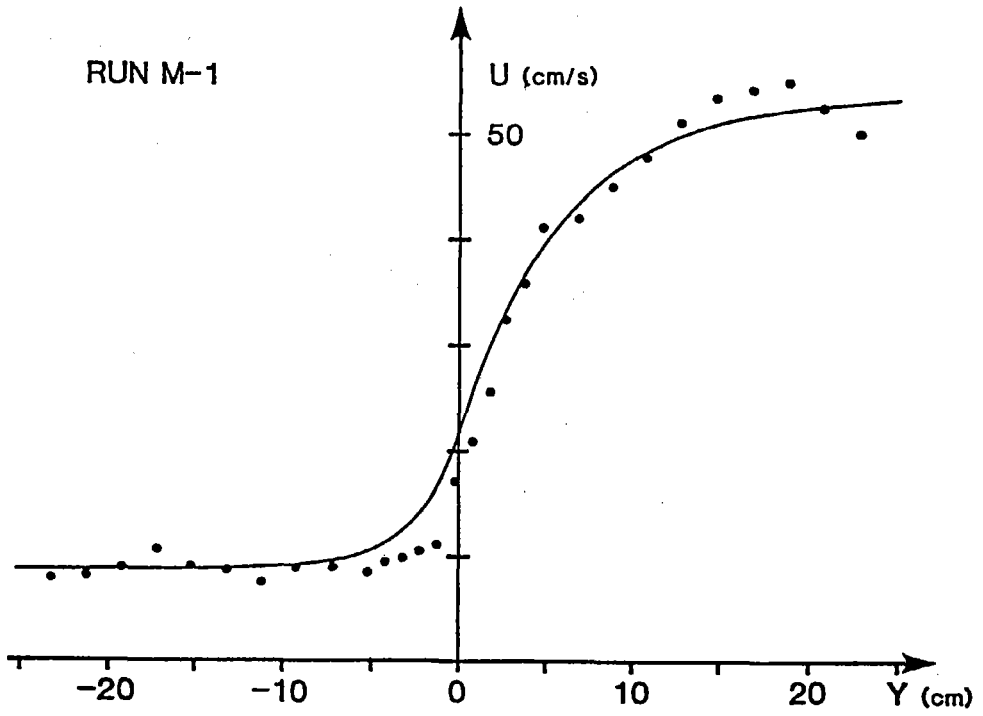


図 2.9(a) 実験結果 (流速分布)

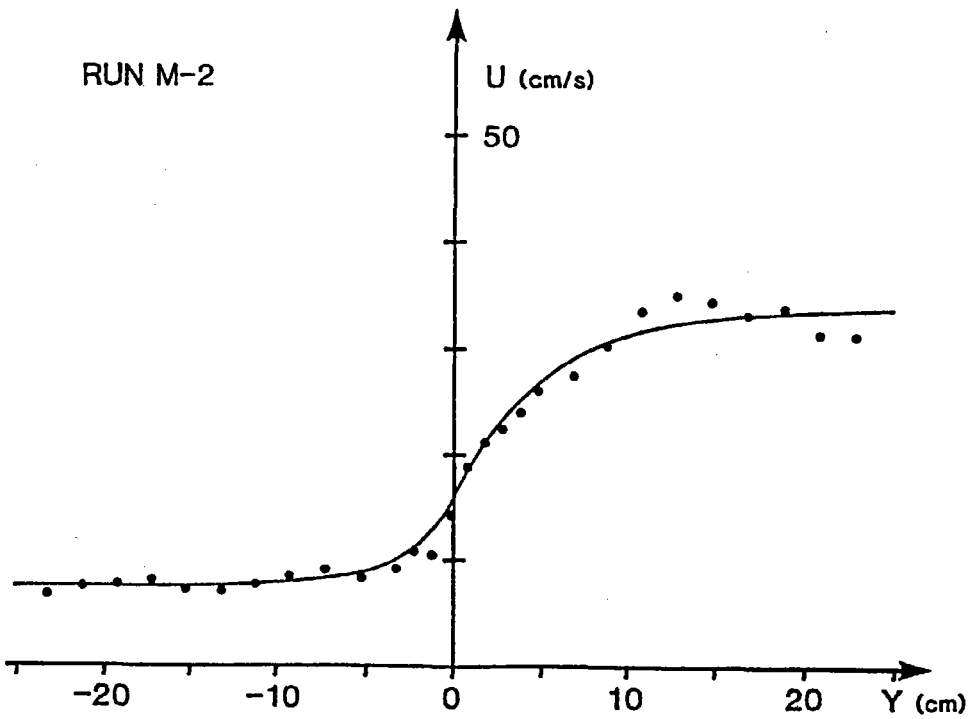


図 2.9(b) 実験結果 (流速分布)

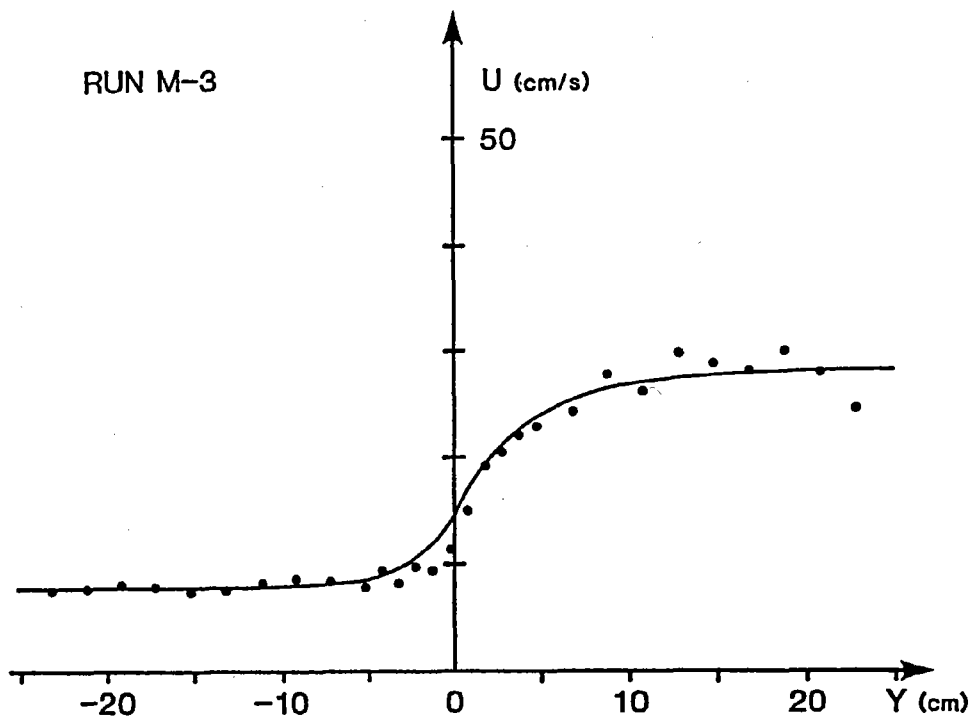


图 2.9(c) 实验结果 (流速分布)

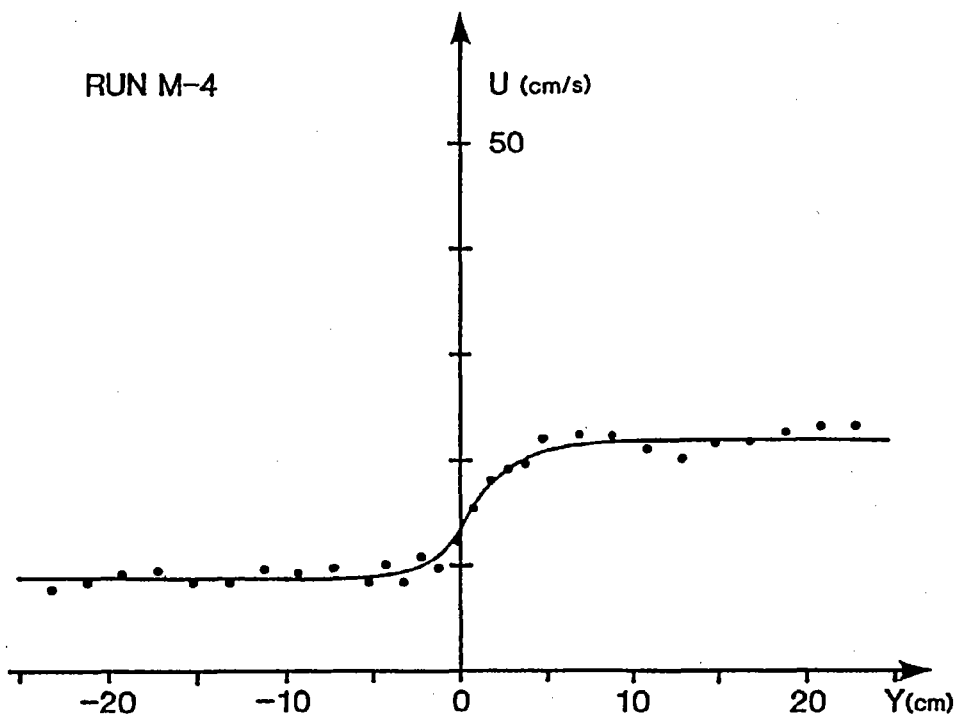


图 2.9(d) 实验结果 (流速分布)

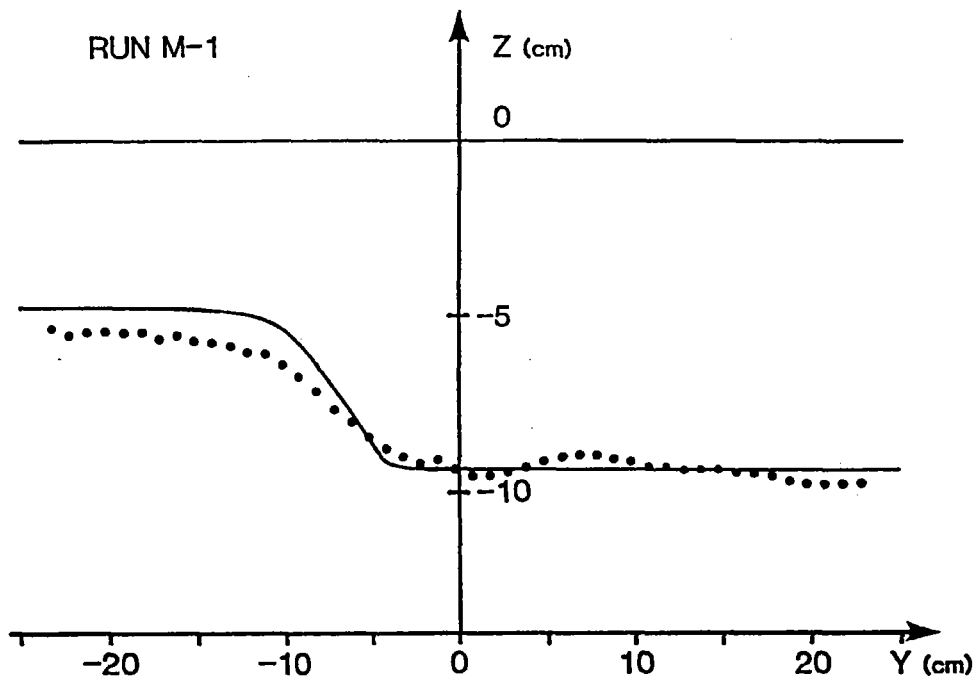


图 2.10(a) 实验结果 (安定河床形状)

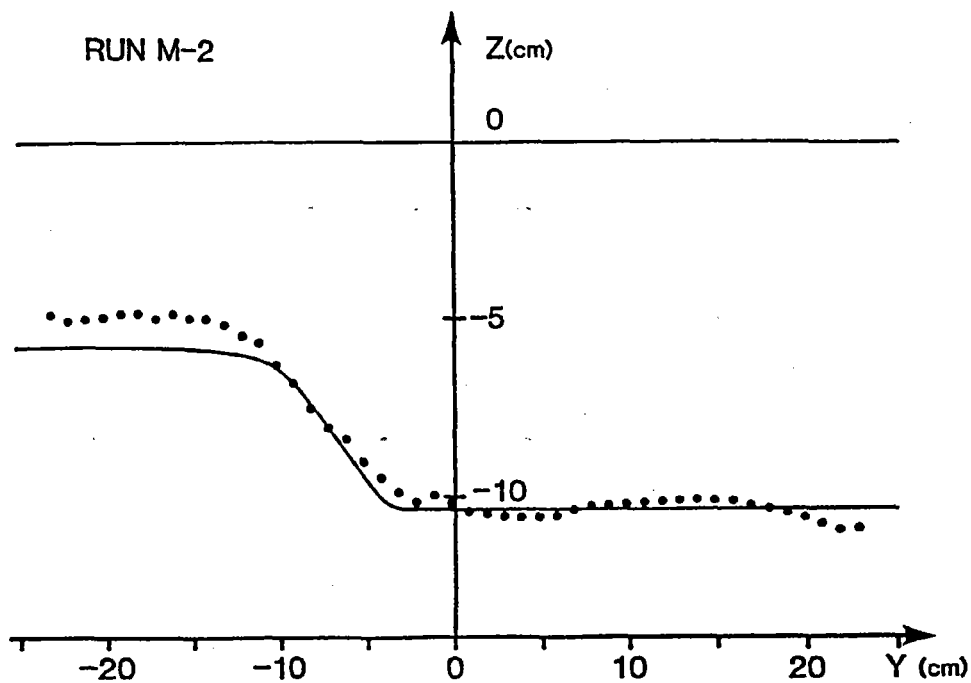


图 2.10(b) 实验结果 (安定河床形状)

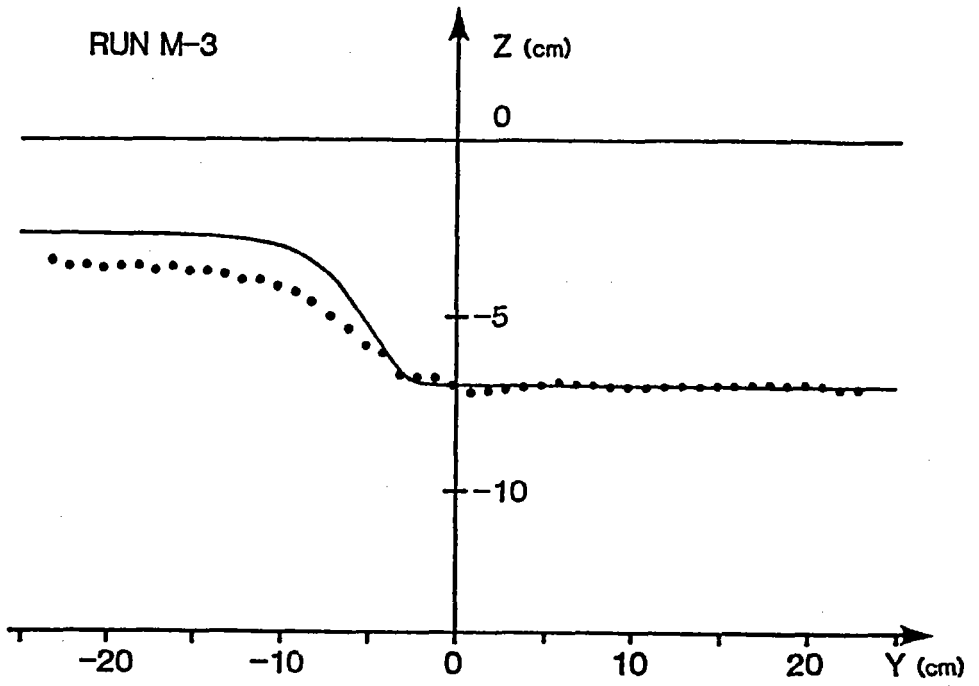


图 2.10(c) 实验结果 (安定河床形状)

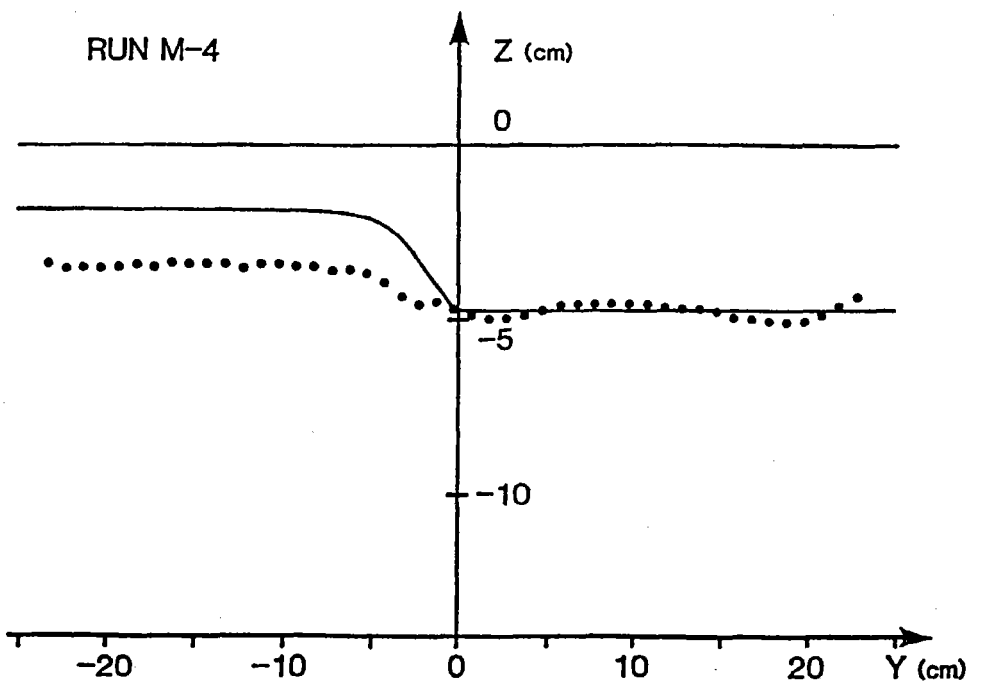


图 2.10(d) 实验结果 (安定河床形状)

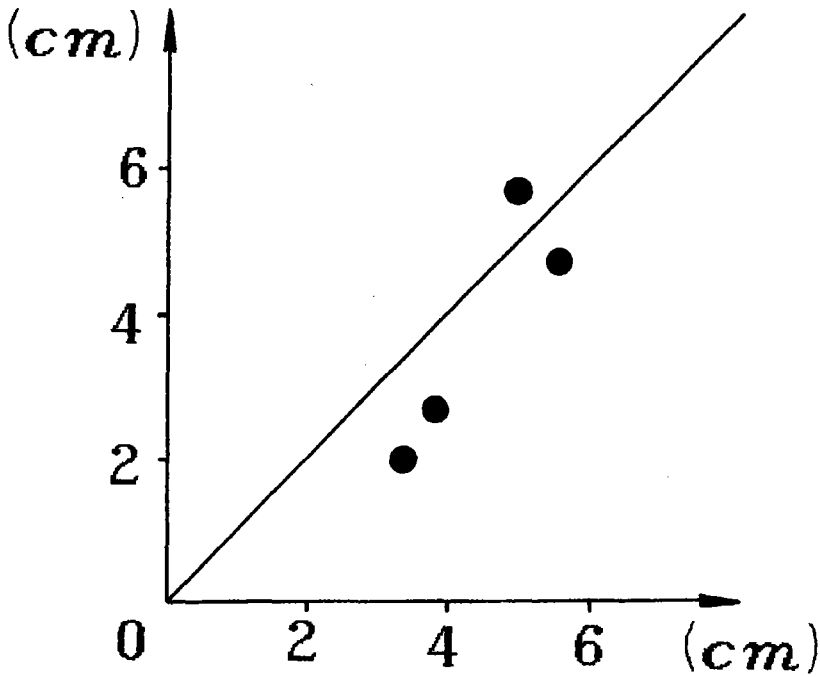


図 2.11 杭領域の水深の予測

2.5 おわりに

ここでは、水制護岸が河川に与える影響を調べるために、問題を単純化して実験および解析を行なった。その結果得られた知見をまとめると次のようである。

- (1) 水制が流れに作用する抗力のため、水制が存在する領域では流速が著しく低下し、また土砂の堆積を促す。
- (2) 水制による抗力のみを考慮したモデルを用いて解析を行なったところ、固定床・移動床いずれの場合も実際の現象をよく説明することが出来た。
- (3) ただし、水制の存在しない領域との顕著な流速差に起因する強い渦動の発生や、横断方向の渦動粘性係数の評価方法など、今回解決し得なかった問題もあり、今後の詳細な検討が望まれる。

参考文献

- 1) 田中昌宏・石川忠晴・木村聡：平行平板間の水平混合特性について，第41回年次学術講演会講演概要集Ⅱ，土木学会，pp. 295-296，1986.
- 2) 秋草勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦：水制に関する研究，土木研究所報告，1960.
- 3) Parker, G: Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed, part I. The sand-silt river, J. Fluid Mech., vol 89, pp. 109-125, 1978.
- 4) Ikeda, S. and Nishimura, T: Bed topography in bends of sand-silt rivers, J. Hyd. Engng, ASCE, vol. 111, No. 11, pp. 1397-1411, 1985.
- 5) Engelund, F: Flow and bed topography in channel bends, J. Hyd. Div., ASCE, vol. 100, No. 11, pp. 1631-1647, 1974.
- 6) Parker, G.: Discussion on "Lateral bed load transport or side slopes" by Ikeda, S., J. Hyd. Engng, ASCE, vol. 110, No. 2, pp. 197-203, 1984.
- 7) Parker, G.: Hydraulic geometry of actual gravel rivers, J. Hyd. Div., ASCE, vol. 105, No. 9, pp. 1185-1201, 1979.

3. 河川における鮎の移動と分散

3.1 はじめに

適正な河川維持流量の算定や河道計画を行う際には，単に水深・流速などの水理量を予測するだけでなく，河川を取り巻く生態系にそれが与える影響を評価する必要がある。しかしながら，その評価方法は非常に不明瞭なものであり，先例からの定性的な類推にとどまっているのが現状である。

鮎は，河川の生物の中でも生物学的に優位にあるばかりでなく，なわばりを形成する習性を持つことから，生態学的見地からも興味深い生物種である。また，人間社会においても需要が高く，養殖・放流事業が盛んに行われるなど，関わりが非常に大きい魚である。

本章では，河川の流量や形態の変化が，河川の生物に与える影響を定量的に評価することを目的とし，その手初めとして，重要な生物種である鮎を対象として，その集団としての移動・分散を予測する手法について検討を加えることにする。

3.2 なわばり社会の定式化

鮎の生態の中で最も特徴的なものは，ある条件の下では，ある割合の鮎がなわばりを形成し，ある条件の下では，それが崩壊するということである。なわばりを持つ鮎（なわばり鮎）は，その場に定着してしまうので，移動・分散に関与するのは，専らなわばりを持たない鮎（遊び鮎）である。したがって，

鮎の移動・分散を予測する際には、なわばり鮎と遊び鮎との間に、どのような相互関係があるか明らかにしておく必要がある。鮎のなわばり社会の特徴を上げると、概略次のようになる。

- (1) なわばりの大きさは、鮎の大きさ・餌となる藻類の現存量や生産量に関わらず一定であり、およそ 1 m^2 である。
- (2) 1個のなわばり内に確保されている藻類の量は、鮎を4～5尾養うに十分なものである。にも関わらず、生息密度が高くなり遊び鮎がなわばりに侵入する回数が増えても、なわばりの面積が縮小されることはない。
- (3) なわばり鮎が捕獲されてなわばりに空きができると、近くにいた遊び鮎がそのなわばりを所有するようになる。
- (4) 遊び鮎の密度がある値を超えると、なわばり社会は崩壊を始める。すなわち、侵入してきた遊び鮎をなわばり鮎が撃退しきれなくなり、なわばり鮎はなわばりを放棄し、自分自身も遊び鮎になってしまうのである。

以上より、鮎がなわばりを形成するのは、食糧の確保というよりはむしろ社会的習性によるものが大きいと考えられる。そして、なわばり鮎がどの段階でなわばりを放棄するかは、餌となる藻類の質の良し悪しで決まってくる。川那部ら(1970)によれば、河床型を早瀬・平瀬・淵に分類したとき、藻類の質はこの順で良いとされている。ここでは社会性の強さを示す単純な指標として、なわばり鮎と遊び鮎の生息密度の C_T 、 C_N をとる。図3.1は川那部ら(1970)の観察記録をもとに、河床型別に C_T と C_N

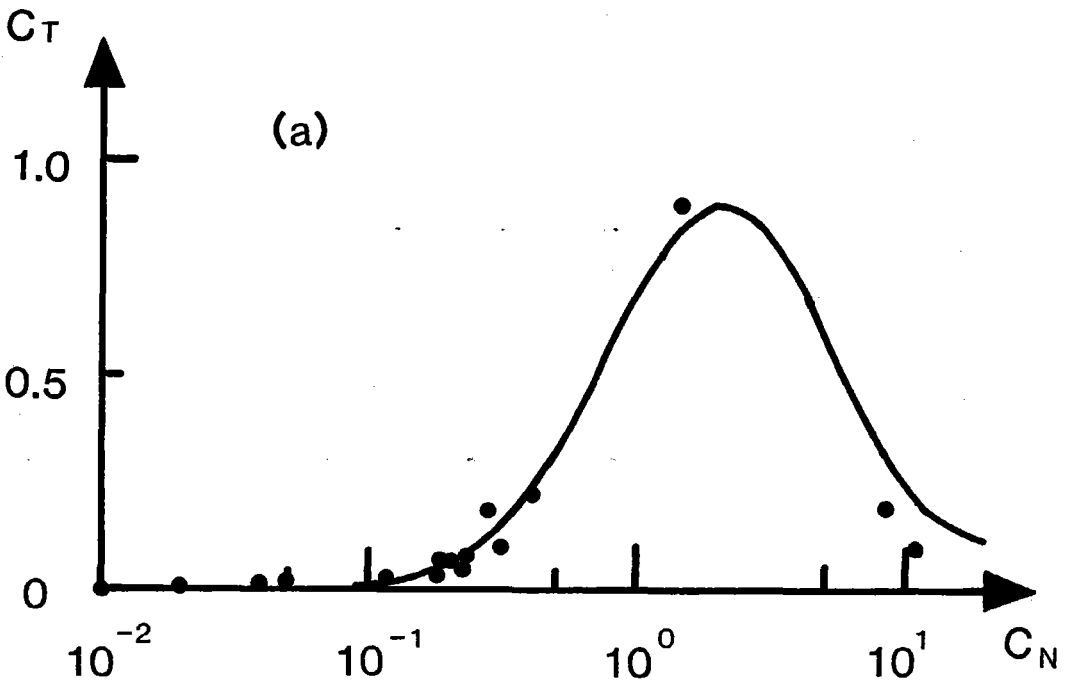


図3.1 河床型別のなわばりの形成の仕方
(a) 早瀬

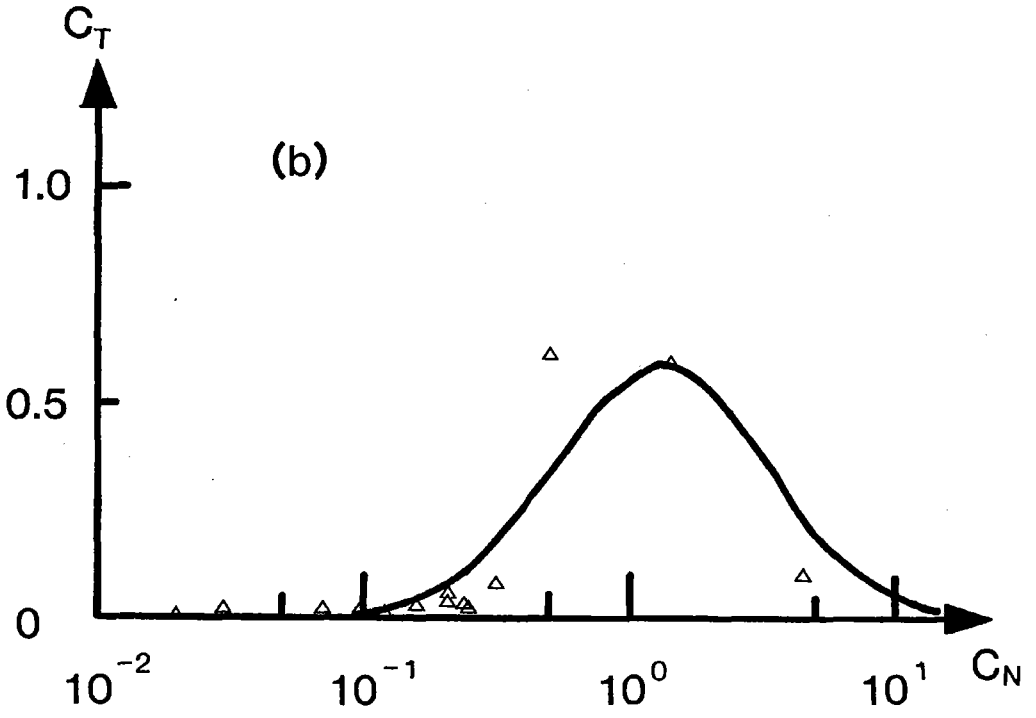


図 3.1 河床型別のなわばりの形成の仕方
(b) 平瀬

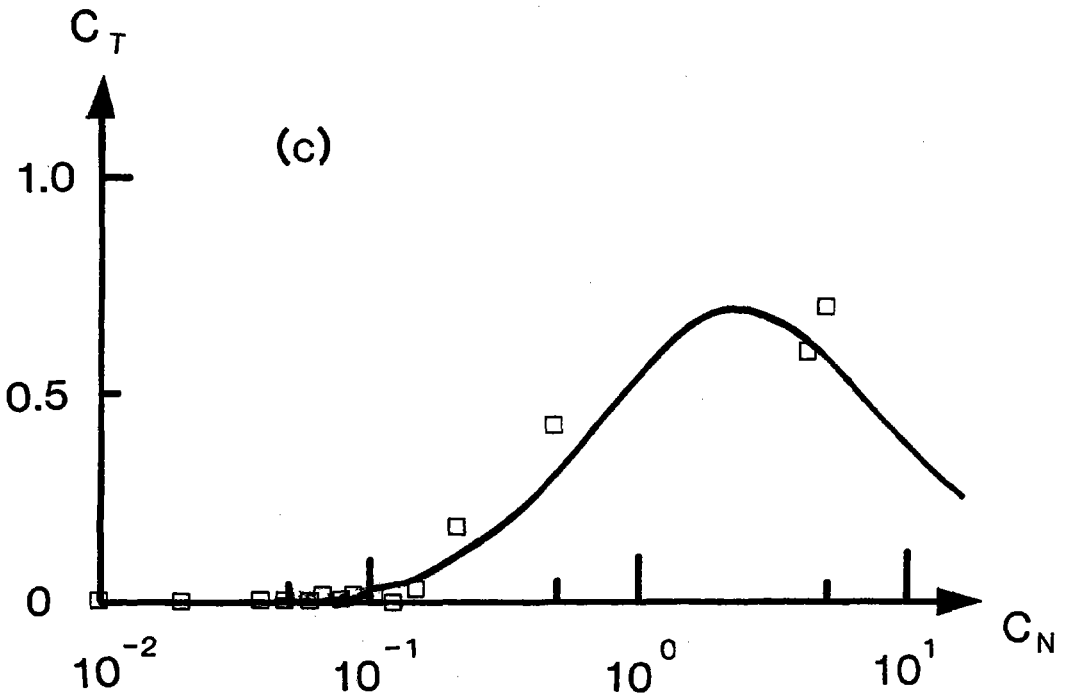


図 3.1 河床型別のなわばりの形成の仕方
(c) 渚

の関係を示したものである。河床型ごとに一義的な関係があることがよくわかる。理論的な c_N と c_T の関係式は、今後の成果を待つかないが、ここではとりあえず次の式を適用する。

$$C_T = T(C_N) = C_{Tm} \exp \left[-\frac{1}{2} \{ \ln C_N - \ln C_0 \}^2 / \sigma^2 \right] \quad (3.1)$$

式(3.1)には3つのパラメータ C_{Tm} , C_0 , σ があるが、その値は表3.1に示す通りである。ただし、 C_{Tm} の値に関しては、一般になわばりを形成し得る領域の面積が、早瀬・平瀬・洄りにおいてそれぞれ、約90%・60%・70%であることから形めた。

また今回は、解析を簡単に進めるために、河床型の違いは考慮せず、早瀬・平瀬・洄りのおおよその面積比(3:3:4)を用いて表3.1の各パラメータの加重平均をとり、今後はこの値を用いることにする。この平均的なパラメータによる式(3.1)と全河床型のデータとの適合性は図3.2に示す通りである。

表3.1 なわばり関数のパラメータ

| 河床型 | C_{Tm} (尾/㎡) | C_0 (尾/㎡) | σ^2 |
|-----|----------------|-------------|------------|
| 早瀬 | 0.90 | 2.07 | 0.98 |
| 平瀬 | 0.60 | 1.44 | 0.86 |
| 洄り | 0.70 | 1.45 | 1.56 |
| 平均 | 0.73 | 2.03 | 1.18 |

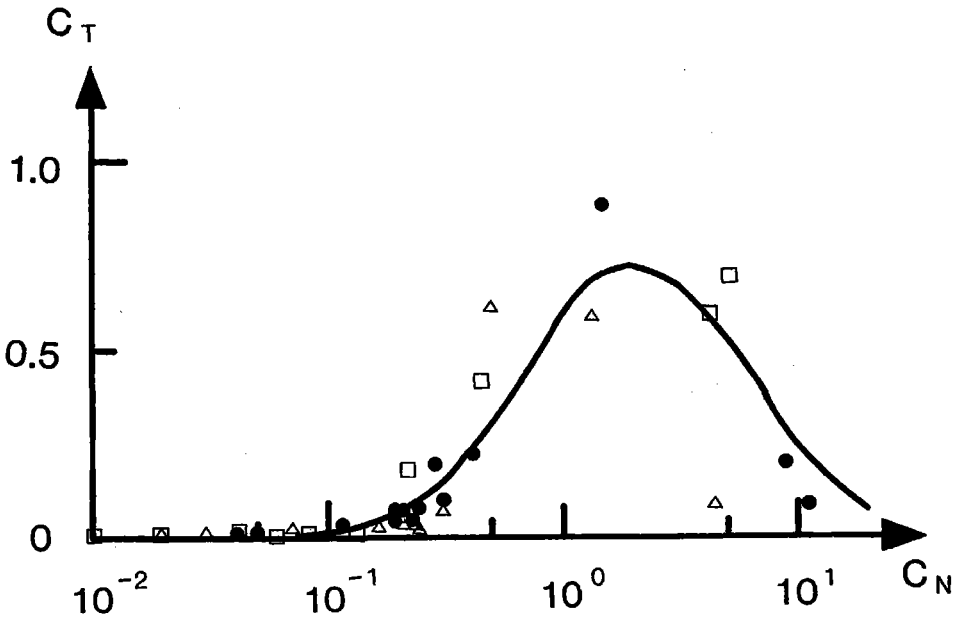


図3.2 平均的ななわばり関数 (●:早瀬, △:平瀬, □:洄り)

3.3 移流速度と拡散係数の評価

3.3.1 支配方程式

c_N と c_T の支配方程式は、Patlak(1953)を参考にすると、死亡増殖や捕獲がない場合には、

$$\frac{\partial C_N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v C_N) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D C_N) - g(x, t, C_N) \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} = g(x, t, C_N) \quad (3.3)$$

という拡散型で書くことができる。ここで、 $g(x, t, C_N)$ は、遊び鮎からなわばり鮎への転換率である。また、 v 、 D はそれぞれ、移流速度と拡散係数であり、次のように表すことができる。

$$v = \bar{u}, \quad D = \overline{(u - v)^2 \tau} \quad (3.4)$$

ここに、 u は1回の移動における移動速度であり、 τ は、その移動に費やされた時間である。bar記号は、アンサンブル平均を意味する。

式(3.2)、(3.3)に式(3.1)のなわばり関係を導入すると、 c_N のみに関する方程式が次のように得られる。

$$\left(1 + \frac{dT}{dC_N}\right) \frac{\partial C_N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v C_N) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (D C_N) \quad (3.5)$$

式(3.2)－(3.5)は、生物が常に運動している場合のもので、鮎のように、夜間ほとんど運動しないおのには直接適用できず、時間を区切らなくてはならない。そこで、単位時間 T_0 (例えば1日)の内で、実際に運動している正味の移動時間の割合 R を用いて、時間を見かけ上連続的に扱えるようにする。以後、簡単のため、 R 、 v 、 D が、 x 、 t によらず一定とする。すると式(3.5)は次のように書くことができる。

$$\left(1 + \frac{\partial T}{\partial C_N}\right) \frac{\partial C_N}{\partial t} + v_e \frac{\partial C_N}{\partial x} = D_e \frac{\partial^2 C_N}{\partial x^2} \quad (3.6)$$

ここで、

$$v_e = R v, \quad D_e = R D \quad (3.7)$$

である。

3.3.2 鮎集団の移流速度と拡散係数の算定式

鮎集団の移流速度と拡散係数は、式(3.4)からわかるように、鮎の運動特性から求められるべきものである。まず移動時間 τ に関しては、移動の発生頻度がポアソン分布に従うと仮定する。このとき、移動時間の方は、指数分布に従い、その確率密度関数 f_T は、平均移動時間 τ_m を用いて

$$f_T(\tau) = \frac{1}{\tau_m} \exp\left[-\frac{\tau}{\tau_m}\right] \quad (3.8)$$

で与えられる。

次に移動速度 u についてであるが、生物がある移動速度を維持していられる時間には必ずと限界がある。塚本ら(1973)によると静水中での移動速度 V とその速度が維持できる最大移動継続時間 τ との間には、経験的に

$$V\tau^k = a \quad (3.9)$$

なる関係が成立する(図 3.3)。ただし、 k 、 a は、個体ごとに決まる定数である。ここでは、式(3.9)を直接使用せず、これを

$$V = V_c \left(\frac{\tau_c}{\tau}\right)^k \quad (3.10)$$

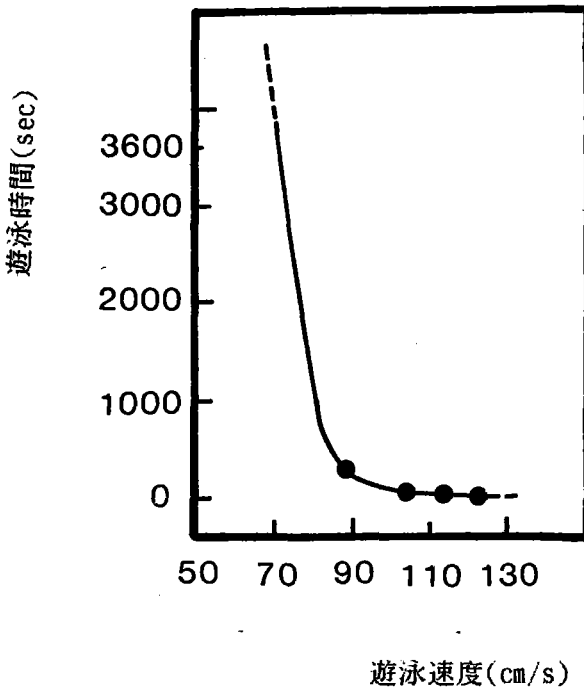


図 3.3 遊泳速度曲線

のように変形して用いることにする。ここで V_c 、 τ_c は、式(3.9)を満たす組合せの中で適当なものを選び、それを後で選ぶことにする。

さて、鮎は常に流れに逆らって泳ぎ、しかもその移動速度を維持しようと最大限の努力をすると仮定すれば、式(3.4)は式(3.8)、(3.10)を用いて、

$$v_e = R \int_0^{\infty} (u_0 - V) f(\tau) d\tau = R \{ u_0 - V_m \Gamma(2-k) \} \quad (3.11)$$

$$D_e = R \int_0^{\infty} (u_0 - V - v) \tau f(\tau) d\tau = R V_m^2 \tau_m \left\{ \frac{1}{2} \Gamma(3-2k) - \Gamma(3-k) \Gamma(2-k) + \Gamma^2(2-k) \right\} \quad (3.12)$$

と書くことができる。ここで、 u_0 は流水の平均流速、 V_m は $\tau = \tau_m$ に対応する流水に相対的な遊泳速度、 $\Gamma(S)$ はガンマ関数である。

以上より、 R 、 τ_m （あるいは V_m ）、 V_c 、 τ_c 、 k の5つのパラメーターの値を具体的に決めることができれば、式(3.6)、(3.11)、(3.12)を用いて、鮎の集団としての挙動を予測することが可能になる。

3.3.3 未定パラメーターの決定

まず、 V_c 、 τ_c の組合せは、 V_c が鮎の巡航速度であるように決める。巡航速度とは、魚が比較的長時間にわたって、その遊泳速度を維持することができる速度を指す。ここでは、塚本ら(1973)の提案にしたがい、 $\tau_c = 60$ 分としたときの速度をもって巡航速度を定義する。塚本ら(1975)は、様々な体長の鮎について実験を行い、巡航速度 V_c を測定している。そのデータを整理し直した結果、 V_c が体長 L_T の関数として、

$$V_c = 0.52 \exp(0.61 L_T) \quad (V_c : m/min, L_T : cm) \quad (3.13)$$

と経験的に表されることが分かった。 k に関しても、塚本ら(1975)のデータを検討した結果、

$$k = 0.30 - 0.034 L_T \quad (L_T : cm) \quad (3.14)$$

を得た。ただし、式(3.13)、(3.14)とも、その適用範囲は $2cm < L_T < 7cm$ である。

R と τ_m に関しては、直接利用できる資料がないので、今回は、放流後の分散状況を調査した資料に基づいて、 R と τ_m の値を推定することにする。使用した資料の諸元は、表3.2に示す通りである。今回使用した資料はすべて、生息領域の位置と長さの時間的変化のみを調べたものであった。また、支配方程式(3.5)は解析的に解くことが非常に困難であり、生息領域の時間変化を直接データと比較して、未定パラメーターを決定することは容易ではない。そこで、式(3.5)においてなわばり関係を無視した単純な拡散方程式の解を近似解として採用し、パラメーターを同定することにする。この場合、生息域の中心位置 x_M と長さ l_x は

$$x_M = v_e t, \quad l_x = 6\sqrt{2De}t \quad (3.15)$$

と表される。観測資料に式(3.15)を適用することにより、 v_e 、 D_e の観測値が求められる。そしてまず、移流速度 v_e のみを用いて帰納的に R と τ_m （あるいは V_m ）の値を定める。その値を用いて今度は演繹的に拡散係数を評価し、 D_e の観測値と比較することによりモデルの妥当性を検討することにする。

ところで、 R と τ_m の値はもはや不変でないことが表3.2から分かる。もし R と τ_m が一定ならば式(3.11)より、川の流れが速いほど、移流速度は大きくなるはずである。しかしながら、表3.2において、資料№1と№4を比較すると、 u_0 の増加は、むしろ移流速度を減少させる働きを有してい

と考えられる。Rと τ_m の u_0 に対する依存性を定量的に扱った資料もまた皆無であり、そこで今回は、Rと τ_m の適当な関数形を仮定し、そこに含まれるパラメーターの値を、表3.2の移流速度をよく表すように決定することにする。

まず、 τ_m については、魚が遊泳運動をする際には、その平均位置が余りずれないように努力すると仮定する。このことは、遊び鮎が無機的に運動しているのではなく、「すみつき」の習性を若干ながら持っていることを考慮したことになる。そして、式(3.10)に倣い、補正係数 α を用いて

$$u_0 = V_c \left(\frac{\tau_c}{\tau_m} \right)^{\alpha k} \quad \text{または} \quad V_m = V_c \left(\frac{u_0}{V_c} \right)^{1/\alpha} \quad (3.16)$$

のように τ_m (あるいは V_m)の関数形を仮定する。またRに関しては、時間 T_0 内に運動することにより消費されるエネルギーEを考える。Eは、流れに対して相対的に進んだ距離と抗力の積として、

$$E = N_0 \cdot \rho C_D A \frac{1}{2} V_m^2 \cdot V_m \tau_m \quad (3.17)$$

表 3.2 引用した放流試験の諸元

| № | 河川名 | 放流日 | 観測日数 | 平均体長 (cm) | 平均体重 (g) | 平均流速 (m/min) | 移流速度 (m/min) | 拡散係数 (m ² /min) |
|---|--------|----------|------|-----------|----------|--------------|--------------|----------------------------|
| 1 | 大分県津房川 | '74/5/15 | 5 | 5.91 | 2.95 | 25.9 | .167 | 7.0 |
| 2 | 同上 | '75/6/3 | 7 | 6.68 | 3.64 | 39.0 | .137 | 29.1 |
| 3 | 同上 | '76/5/27 | 4 | 5.88 | 3.42 | 27.0 | .536 | 82.1 |
| 4 | 徳島県松尾川 | '76/5/7 | 15 | 6.99 | 5.04 | 126.9 | .014 | 0.5 |

の形に書くことができる。ここに、 N_0 は時間 T_0 内の平均移動回数、 ρ は周囲流体の密度、 C_D 、 A はそれぞれ、鮎の抗力係数と流れに垂直な断面における断面積である。この時期の鮎の摂取し得るエネルギーはそれほど差がないから、流れなどの外部条件の変化に対して、鮎の為し得る仕事量の変化は小さく、したがってEは平均的に一定と考えられる。また、 C_D 、 A も U_0 に比べて余り変化しないと考える。すると、Rはその定義から、

$$R = \frac{N_0 \tau_m}{T_0} = \frac{2 E}{\rho C_D A T_0} \frac{1}{V_m^3} = \frac{C_R}{V_m^3} \quad (3.18)$$

のように、 V_m の3乗に反比例することになる。式(3.16)、(3.18)を式(3.11)に代入すれば、 v_e の算定式を

$$v_e = \frac{C_R}{V_m^2} \{ u_0 - V_m \Gamma(2-k) \} \quad (3.19)$$

のように得ることができる。

式(3.19)が観測された移流速度をよく表すようにパラメーター α と C_R の値を最小2乗法により求めた。その結果は表3.3と図3.4に示す通りである。 α が1より若干大きいのは、全ての移動において最大遊泳努力をしているわけではないことを意味している。また図3.4からは、式(3.19)の関数形が観測値の傾向をよく表していることがわかる。

表 3.3 パラメーターの推定値

| | |
|----------|--------------------------------|
| α | 1.045 |
| C_R | $2816 (\text{m}/\text{min})^3$ |

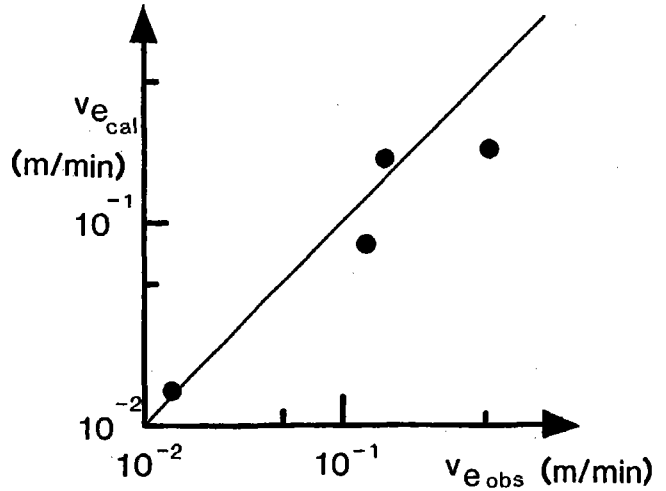


図 3.4 v_e の評価

3.3.4 拡散係数の評価

先に求めたパラメーター α と C_R の値を用いて、今度は拡散係数 D_e を評価する。計算結果と観測値との比較を図3.5に示す。オーダーは若干ずれているものの計算値は観測値の傾向をよく示している。

最もずれが大きいのは資料No.4である。

この調査例は、周囲流水の流速や鮎の体重などが他の条件に比べて著しく異なっており、その影響が反映されたものだと考えられる。しかし、他の3例を見る限りにおいては、式(3.19)は、 u_0 への依存の仕方の特徴をよく捉えており、 u_0 が V_C に近いときには、良好な予測値を与えるものと考えられる。いずれにしても、 R と τ_m の決定については、今後より一層の検討が必要であり、それと共に、この種のデータの充実が望まれる。

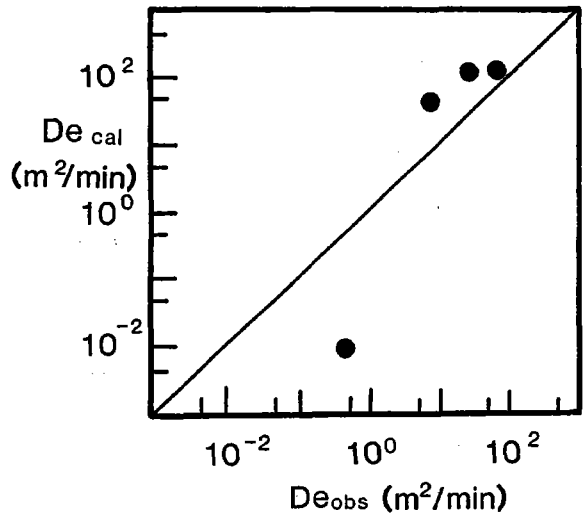


図 3.5 D_e の評価

3.4 数値解と観測値との比較

式(3.5)は解析的に解くのが困難であるため、これまでは現存するデータを直接用いずに、それを加工した近似値を使って、未定パラメーターを決定した。ここでは、支配方程式を数値的に解き、その結果と現存するデータとを直接比較することにする。

計算には、次のような不完全陰解法の差分スキームを用いた。

$$A_{1i} C_i = A_{2i} C_{i+1} + A_{3i} C_{i-1} + A_{4i} \quad (3.20)$$

$$A_{1i} = A + B, \quad A_{2i} = \frac{1}{2} (B - v_e)$$

$$A_{3i} = \frac{1}{2} (B + v_e), \quad A_{4i} = \frac{1}{2} A C_i^0 \quad (3.21)$$

$$A = \left(1 + \frac{dT}{dc_i^0}\right) \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad B = \frac{De}{\Delta x}$$

ここで、 Δx 、 Δt は、それぞれ、流れ方向と時間の刻み幅であり、上添え字0は、時間 Δt 前の時刻における量であることを表す。また遊び鮎を意味する下添え字Nは省略した。計算に際しては、式(3.11)、(3.12)等から算出した v_e 、 De の値を用いた。

図3.6は、資料№3について、観測結果と計算結果を比較したものである。図中の曲線は、生息密度分布(計算値)を表し、矢印は、生息領域(観測値)を示している。この図からわかるように、ここで使用したモデルにより予測される鮎の挙動は、実際の観測値をよく再現しているといえる。

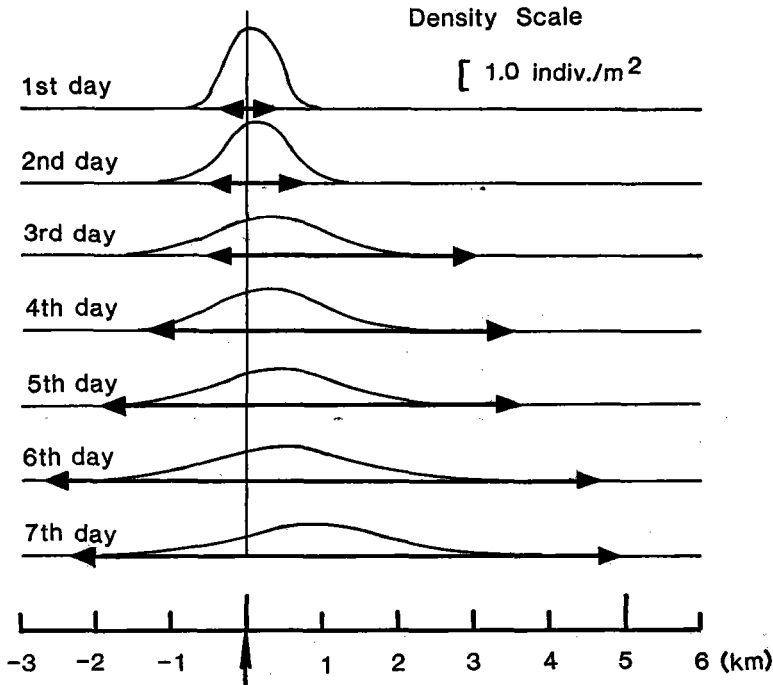


図 3.6 数値解と観測値との比較

3.5 おわりに

本研究では、陸水魚の中でも支配種であり、生態学的にも特徴のある鮎の移動・分散の仕方を、拡散型方程式を用いて予測する手法について検討を加えた。主要な概念および結論は次のようである。

- (1) 鮎のなわばり社会を記述する「なわばり関数」を導入した。
- (2) 鮎集団の移流速度と拡散係数を、鮎の個体としての運動特性から算出する評価式を導き、そこに含まれる未定パラメーターを定めた。
- (3) ここに採用した拡散モデルが、鮎の集団としての移動・分散の挙動をよく表現できることがわかった。

参考文献

- 1) 川那部浩哉・水野信彦・西村登：アユは河床形をいかに利用するか — アユの密度と体長分布 — ，日本誌，23(7)，430—434，1957
- 2) 川那部浩哉・森主一・水野信彦：遡上アユの生息密度と淵の利用のしかた，日生態会誌，7(1)，22—26，1957
- 3) 川那部浩哉：アユの社会構造と生産2—15年間の変化をみて—，日生態会誌，20(4)，144—151，1970
- 4) 大分県内水面漁業試験場：津房川における人工採苗アユの放流効果について，人工採苗アユの放流効果試験報告書，淡水区水産研究所，水産庁研究開発部研究課，21—69，1978
- 5) Patlak, C.S. : Randon walk with persistence and external bias, Bull. Math. Biophys., 15, 311—338, 1953
- 6) 塚本勝巳・梶原武：魚類の遊泳速度と遊泳能力，水産土木，10(1)，31—36，1973
- 7) 塚本勝巳・梶原武・増田信之・森由基彦：放流時における人工種苗アユの分散—1，日本誌，41(7)，733—737，1975
- 8) 徳島県水産試験場：人工生産アユの放流効果に関する研究，人工採苗アユの放流効果試験報告書，淡水区水産研究所，水産庁研究開発部研究課，127—143，1978
- 9) Wilkinson, D.H. : The random elements in bird 'navigation', J. Exp. Biol, 29, 532—560, 1952

4. 鮎の生息場としての多摩川

4.1 調査の目的

近年、鮎種苗の人工量産化が可能になり、天然産種苗の不足を補う目的で、河川への放流が試みられている。多摩川においてもかねてから、鮎の増殖には強い関心が寄せられており、最近では系統的な種苗の放流が行なわれつつある。しかしながら、放流時期・地点や放流量を調整・決定するための客観的な基準・根拠がなく、過去からの類推や他の河川との比較から暫定的な措置を取っているのが現状である。

鮎は河床の礫に付着する藻類を摂餌し、また「なわばり」を形成する習性を持つ。この2点は鮎の移動・分散・成長を考えるのに重要な要素であり、ともに河川地形に大きく依存するものである。そこで今回の調査では、鮎の生息場としての多摩川を河川地形の面から捉えることを主たる目的として、その基本的なデータを収集することにした。

4.2 調査地域および時期

調査地域は、上流側の川井ダムから下流側の羽村堰に至る行程約20kmの区間とした。(図4.1)これをさらに約4kmずつ5つの小区間に分け、それぞれを班ごとに担当し、調査した。調査は、かねてからの予定通り、1986年8月9日に行なった。数日前に台風性の降雨があり、そのため流量が平水時に比べて幾分増えていたが、河川地形そのものについては殆ど影響がないと考えられる。

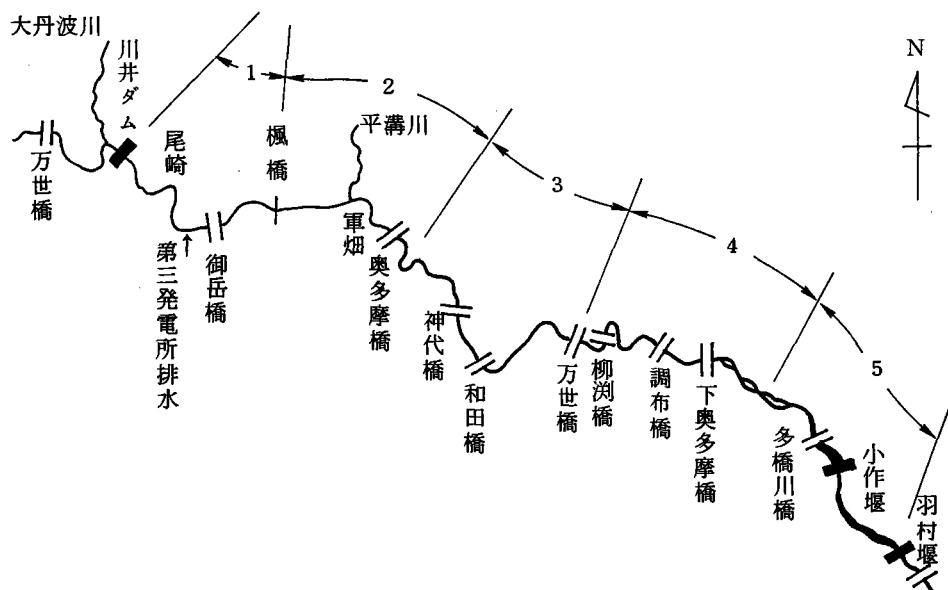


図 4.1 調査地域概略図

4.3 調査作業について

4.3.1 「なわばりを形成し得る領域」の配置と大きさ

鮎の生態を考える上で重要なことは、摂餌のために「なわばり」を形成する「なわばり鮎」がいることである。なわばり鮎はその場に定着してしまうが、なわばりを持たない「遊び鮎」は周囲の条件に応じて移動する。また、なわばり鮎と遊び鮎とでは、成長の度合いが著しく異なってくる。鮎の動態・成長を具体的に評価するためには、対象区域内のどこにどの程度のなわばりが形成し得るか知っておく必要がある。

鮎1尾が形成するなわばりの広さは、個々の鮎の年齢・大きさに関わらず約1㎡であると言われている。したがって、なわばりのおおよその数を知ることが出来るのである。

一般に、なわばりの形成の仕方は、その維持の難易度と食糧の質・量で決まる。鮎の場合はこれを河川形態によりおおまかな等級分けをすることができ、早瀬・平瀬・淵の順に1等地・2等地・3等地と言うことができる。そこで、この件に関しては、早瀬・平瀬・淵といった河川形態の分布状況を調査する事にした。

4.3.2 河川形態の分布

河川に沿って移動しながら、その河川形態を縦断方向に早瀬・平瀬・淵に区分する。そして、その境界の位置を地図上に大まかに記入し、後の参考のため川の様子を写真に収める。なお、早瀬・平瀬・淵といった河川形態の区別は、図4.2を参考にして決める。

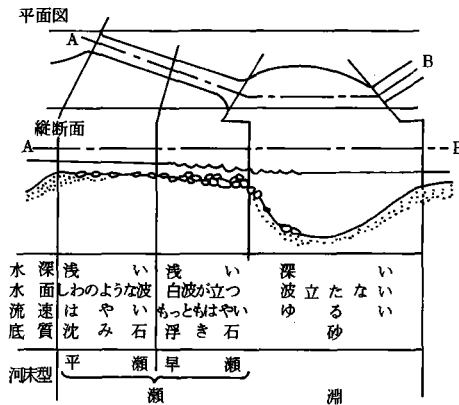


図 4.2 河川形態の区分と特徴

但し、流速に関しては、

- 最も早い…………… 0.7 m/s 以上
- 速い…………… 0.3 ~ 0.7 m/s 程度
- 遅い…………… 0.3 m/s 以下

また、水深に関しては

浅い…………… 0.8 m 程度まで

深い…………… 1.2 m 以上

を大まかな目安としておく。

この平瀬・早瀬・淵の区分は、かなり相対的なものであるから、形態区分の順序性（上流から平瀬・早瀬・淵の順）を考慮しながら、20 m 単位程度で大域的に判断する。

4.3.3 各形態区分の特性

各河川形態区ごとにその長さの目安をデータ・シートに記録する。さらに、各区の代表的な点において、水深、流速、川幅を測定する。

水深の測定は、水深棒を用いる。すなわち、水深棒を流れの中で鉛直に立てて、水面のところの目盛りを読むのである。今回用いた水深棒には、5 cm 間隔で目盛りが入っている。それ以上の精度は、特に水深が浅くない限り、望まない。

流速は、手頃な浮遊物が、長さのわかっている区間（巻尺で測っておく）を流下する時間を、ストップ・ウォッチにより測定することから求める。手頃な浮遊物が流れてこない場合は、手持ちの使い捨て用の浮子を流す。

川幅の測定は、人が安全に両岸に配置できる場所では、巻尺を差し渡して測定する。川幅が広い場合や、向こう岸に渡るのが危険と判断される時には、図 4.3 の様にして測定する。まず、向こう岸の目印 C 点を決める。CA が流れに垂直になるように、かつ、AC の長さが川幅を示すように、こちら岸に A 点を決める。それから、A から、AC に垂直に、10 m 程離れた所に B 点を決める。そして、AB の長さと $\angle ABC$ の大きさを測り、直角三角形の相似を用いて川幅 AC を求める。なお、水深 10 cm 以下の所は、生息域としては考えないので、川幅には含めない。

4.3.4 鮎の生息場所としての評価

河床にある礫の様子を観察し、河川の形態区分ごとにその代表粒径（群を抜いて大きな岩がある場合はその大きさだけ別にして）や苔の生え方などを記録する。

また、人間の河川の利用の仕方を大きく「釣り」と「水遊び」に分け、利用している人数を形態区分ごとにデータ・シートに記録する。

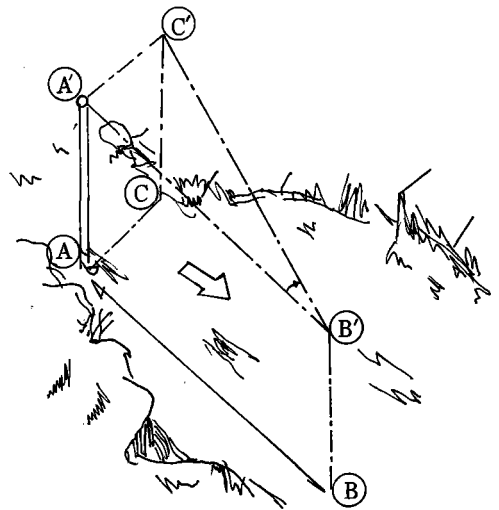


図 4.3 川幅の測定

4.4 河川形態の分布状況

表 4.1 に、調査から得られた河川形態の分布状況とその特性を示す。ここで流程とは、川井ダムからその河川形態区の上流側の区分点までの道のりである。河床の状態に関しては、敷石状になっている礫（礫 1）と、その上に置石状に残っている礫（礫 2）とを区別し、その代表的な大きさを記した。また、粗い礫だけでなく、細かい砂がみられる箇所ではその旨を示してある（砂があれば、「1」）。また、各河川形態の代表的な地点の状態を写真 4.1 に示す。

今回の調査では、河川形態の区別はかなり大まかなものである。そこで、調査結果のチェックを兼ねて、河川形態によってどの程度の差異が認められるものか比較してみることにする。図 4.4 は、河川形態ごとの水深の確率密度を示したものである。早瀬・平瀬の分布が 0.8 付近で顕著なピークを持っている。前日までの降雨により水かさが増したことを考えると 4.3.2 で述べた大まかな目安に準拠していると言える。また、淵に関しては、1 m 付近で大きなピークを有するものの、さらに 2.5 m 付近で小さなピークが現われている。淵はその絶対数が少ないため、確率分布が滑らかになりにくい。全体としては、両者の加重平均にあたる 1.5 m 付近を 1 つの目安とすべきであろう。

図 4.5 は、流速の確率分布である。早瀬・平瀬・淵に対してそれぞれ、1.8、1.4、1.0 m/s に明確なピークがみられる。4.3.2 にある流速の目安とは絶対値こそ違うものの、順位の対応は一致している。本調査における河川形態の判別が流速などの物理量によるものでなく、主として河川地形の表面的な印象のみによっていただけに、図 4.5 のような明確なピークの相違は非常に意味のあることである。すなわち、これまで河川形態学の分野のみにおける概念的な区分であった河川形態が、物理的な物理量と具体的に結びつけられることを示唆している。とはいえ、これは広い視野からみれば未だに相対的なものであり、絶対的な数値は各河川ごとに異なってくるのは必定である。

図 4.6・図 4.7 はそれぞれ、敷石状（礫 1）・置石状（礫 2）の礫の代表粒径の確率分布を示したものである。礫 1 に関しては、早瀬が 120 mm、平瀬が 60 mm、淵が 50 mm 前後のところにピークを持っており、礫 2 についてはそれぞれ、140 mm、120 mm、80 mm となっている。早瀬・淵のピークが明確に異なっているので言うまでもない。ここで興味深いのは、平瀬において礫 1 は淵と同様な分布をしているのに対して、礫 2 ではむしろそのピークを早瀬に近付けていることである。礫 1 については流れがそれほど強くないためにピークが左に寄り、礫 2 については早瀬との連続性のため右にはずれる。平瀬の中間的な性格がよく現われていると言える。

平瀬と淵は礫 1、つまり敷石状のものの確率密度が殆ど同じであるが、これは河床の様子が同じであることを意味してはいない。図 4.8 は、河川形態ごとの砂床の相対度数を示したものである。淵はその全てにおいて細かい砂がみられたのに対して、平瀬ではそれが半分でしかない。すなわち、淵では平瀬・早瀬と異なり、砂と礫が混じりあって河床を形成されているのである。瀬においては流れていってしまう細かい砂が、流れの弱い淵に到達してそこに堆積しているのである。

以上、調査した項目について河川形態ごとの差異を定量的に検討した。その結果、河川地形の表面的

表 4.1 各河川形態区間の特徴

| No. | 形態 ★ | 流程 (m) | 面積 (m ²) | 区間長 (m) | 幅 (m) | 水深 (m) | 流速 (m/s) | 礫1 (mm) | 礫2 (mm) | 砂★ | 釣 (人) | 遊 (人) |
|-----|---------|-----------|-------------------------|------------|----------|-----------|-------------|------------|------------|----|----------|----------|
| 1 | 2 | 0.0 | 1286.5 | 71.5 | 18.0 | 0.3 | 0.5 | 30 | 100 | 1 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 71.5 | 5171.2 | 304.2 | 17.0 | 0.5 | 0.7 | 150 | 600 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 375.7 | 4684.1 | 312.3 | 15.0 | 0.7 | 0.8 | 100 | 1500 | 0 | 2 | 5 |
| 4 | 2 | 687.9 | 332.5 | 30.2 | 11.0 | 0.9 | 1.0 | 20 | 100 | 0 | 4 | 2 |
| 5 | 1 | 718.2 | 366.3 | 36.6 | 10.0 | 1.4 | 0.8 | 100 | 2000 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 754.8 | 1196.2 | 74.8 | 16.0 | 1.3 | 1.1 | 100 | 300 | 1 | 2 | 0 |
| 7 | 1 | 829.6 | 1687.7 | 105.5 | 16.0 | 0.4 | 1.4 | 100 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 2 | 935.0 | 841.7 | 105.2 | 8.0 | 0.8 | 1.4 | 2 | 100 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 1040.2 | 936.5 | 93.7 | 10.0 | 0.8 | 1.5 | 100 | 1000 | 0 | 0 | 5 |
| 10 | 2 | 1133.9 | 512.1 | 46.6 | 11.0 | 0.7 | 2.2 | 20 | 500 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 1180.4 | 820.6 | 68.4 | 12.0 | 0.8 | 1.9 | 80 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 2 | 1248.8 | 750.1 | 41.7 | 18.0 | 0.5 | 1.3 | 30 | 2000 | 0 | 0 | 3 |
| 13 | 2 | 1290.5 | 946.7 | 94.7 | 10.0 | 0.3 | 0.8 | 1 | 30 | 1 | 0 | 3 |
| 14 | 2 | 1385.2 | 2785.0 | 111.4 | 25.0 | 0.4 | 0.7 | 1 | 300 | 1 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 1496.6 | 3224.8 | 322.5 | 10.0 | 0.5 | 1.6 | 200 | 1000 | 0 | 50 | 100 |
| 16 | 3 | 1819.0 | 1342.5 | 89.5 | 15.0 | 1.5 | 1.0 | 200 | 1000 | 1 | 3 | 5 |
| 17 | 1 | 1908.5 | 1589.0 | 88.3 | 18.0 | 0.7 | 1.0 | 200 | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 1 | 1996.8 | 431.2 | 43.1 | 10.0 | 0.5 | 4.6 | 200 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 3 | 2039.9 | 1098.2 | 84.5 | 13.0 | 1.8 | 0.6 | 1 | 500 | 1 | 0 | 0 |
| 20 | 1 | 2124.4 | 1887.8 | 125.9 | 15.0 | 0.5 | 1.6 | 200 | 3000 | 0 | 3 | 20 |
| 21 | 3 | 2250.3 | 2358.7 | 131.0 | 18.0 | 2.0 | 0.7 | 100 | 2000 | 1 | 0 | 0 |
| 22 | 1 | 2381.3 | 647.2 | 53.9 | 12.0 | 0.6 | 2.1 | 50 | 2000 | 0 | 2 | 20 |
| 23 | 1 | 2435.2 | 3994.1 | 332.8 | 12.0 | 1.4 | 3.3 | 1000 | 5000 | 0 | 3 | 0 |
| 24 | 3 | 2768.1 | 797.4 | 53.2 | 15.0 | 2.0 | 1.4 | 50 | 2000 | 1 | 0 | 30 |
| 25 | 1 | 2821.2 | 4258.6 | 212.9 | 20.0 | 1.5 | 1.9 | 100 | 5000 | 0 | 0 | 60 |
| 26 | 2 | 3034.2 | 2817.4 | 156.5 | 18.0 | 1.5 | 2.4 | 100 | 3000 | 1 | 0 | 130 |
| 27 | 1 | 3190.7 | 1071.7 | 82.4 | 13.0 | 1.5 | 3.5 | 300 | 3000 | 0 | 2 | 30 |
| 28 | 3 | 3273.1 | 1730.5 | 69.2 | 25.0 | 2.0 | 1.5 | 50 | 50 | 1 | 1 | 5 |
| 29 | 1 | 3342.4 | 6805.5 | 272.2 | 25.0 | 0.5 | 2.8 | 100 | 2000 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 1 | 3614.6 | 4445.0 | 177.8 | 25.0 | 1.0 | 2.5 | 100 | 3000 | 0 | 0 | 20 |
| 31 | 1 | 3792.4 | 8749.5 | 291.7 | 30.0 | 1.4 | 2.8 | 100 | 1500 | 0 | 0 | 5 |
| 32 | 2 | 4084.0 | 5032.2 | 167.7 | 30.0 | 1.5 | 2.2 | 100 | 3000 | 0 | 1 | 0 |
| 33 | 2 | 4251.8 | 13207.5 | 264.2 | 50.0 | 0.6 | 1.0 | 20 | 70 | 0 | 2 | 0 |
| 34 | 1 | 4515.9 | 3528.0 | 141.1 | 25.0 | 0.6 | 2.5 | 100 | 300 | 0 | 1 | 6 |
| 35 | 3 | 4657.0 | 4068.0 | 135.6 | 30.0 | 2.0 | 0.8 | 1 | 50 | 1 | 0 | 0 |
| 36 | 2 | 4792.6 | 2543.1 | 84.8 | 30.0 | 0.8 | 1.2 | 40 | 100 | 0 | 2 | 0 |
| 37 | 2 | 4877.4 | 19086.8 | 477.2 | 40.0 | 0.6 | 1.5 | 70 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| 38 | 2 | 5354.6 | 7140.5 | 142.8 | 50.0 | 0.6 | 0.8 | 10 | 70 | 1 | 0 | 0 |
| 39 | 3 | 5497.4 | 3388.8 | 56.5 | 60.0 | 0.6 | 0.5 | 20 | 20 | 1 | 0 | 0 |
| 40 | 2 | 5553.9 | 3893.0 | 77.9 | 50.0 | 0.4 | 0.7 | 10 | 100 | 1 | 8 | 0 |
| 41 | 1 | 5631.7 | 5063.7 | 168.8 | 30.0 | 0.5 | 1.1 | 10 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 1 | 5800.5 | 3896.2 | 194.8 | 20.0 | 0.5 | 1.3 | 100 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 1 | 5995.3 | 3094.2 | 154.7 | 20.0 | 0.4 | 1.3 | 100 | 200 | 0 | 0 | 20 |
| 44 | 2 | 6150.0 | 3093.7 | 88.4 | 35.0 | 0.7 | 1.0 | 50 | 300 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 2 | 6238.4 | 4122.0 | 164.9 | 25.0 | 1.0 | 2.1 | 20 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | 1 | 6403.3 | 13407.1 | 383.1 | 35.0 | 0.7 | 1.6 | 100 | 500 | 0 | 5 | 0 |
| 47 | 3 | 6786.4 | 2680.6 | 134.0 | 20.0 | 0.8 | 1.4 | 20 | 50 | 1 | 0 | 50 |
| 48 | 1 | 6920.4 | 4644.5 | 185.8 | 25.0 | 0.8 | 1.4 | 300 | 300 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 3 | 7106.2 | 3160.6 | 158.0 | 20.0 | 0.9 | 1.2 | 50 | 50 | 1 | 0 | 0 |
| 50 | 2 | 7264.2 | 1635.0 | 65.4 | 25.0 | 0.8 | 1.7 | 250 | 250 | 0 | 0 | 0 |
| 51 | 2 | 7329.6 | 4099.5 | 136.7 | 30.0 | 0.8 | 0.9 | 20 | 120 | 1 | 0 | 3 |
| 52 | 1 | 7466.3 | 5773.8 | 192.5 | 30.0 | 1.1 | 4.0 | 300 | 500 | 0 | 1 | 4 |
| 53 | 3 | 7658.7 | 3915.9 | 130.5 | 30.0 | 1.2 | 0.9 | 50 | 200 | 1 | 0 | 0 |
| 54 | 2 | 7789.2 | 2963.0 | 134.7 | 22.0 | 0.9 | 0.9 | 100 | 700 | 1 | 0 | 0 |
| 55 | 1 | 7923.9 | 3639.6 | 121.3 | 30.0 | 0.7 | 2.5 | 60 | 700 | 0 | 0 | 2 |
| 56 | 1 | 8045.2 | 2361.3 | 78.7 | 30.0 | 0.8 | 1.6 | 200 | 500 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 2 | 8124.0 | 3851.7 | 128.4 | 30.0 | 0.8 | 1.0 | 100 | 600 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 2 | 8252.3 | 1482.3 | 59.3 | 25.0 | 0.7 | 1.1 | 300 | 500 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | 1 | 8311.6 | 1121.4 | 56.1 | 20.0 | 1.0 | 1.2 | 200 | 600 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 3 | 8367.7 | 1572.0 | 62.9 | 25.0 | 0.9 | 0.8 | 50 | 250 | 1 | 0 | 0 |

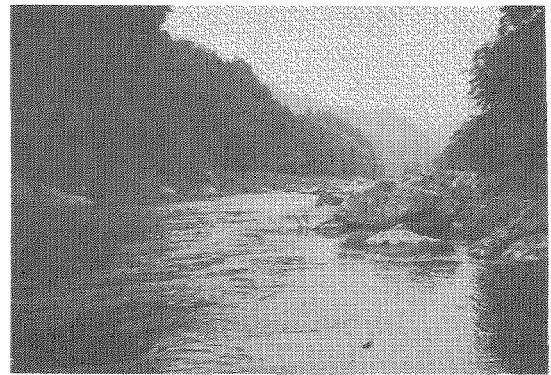
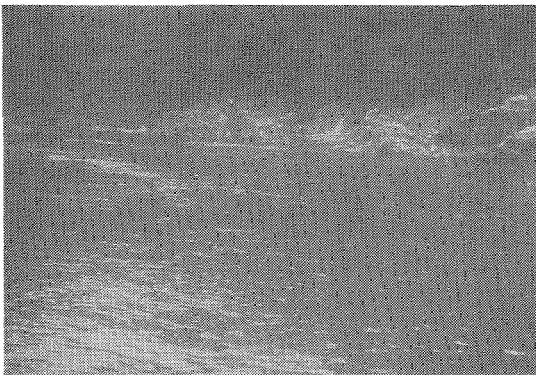
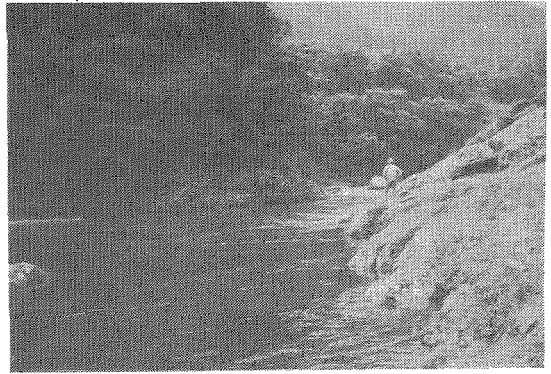
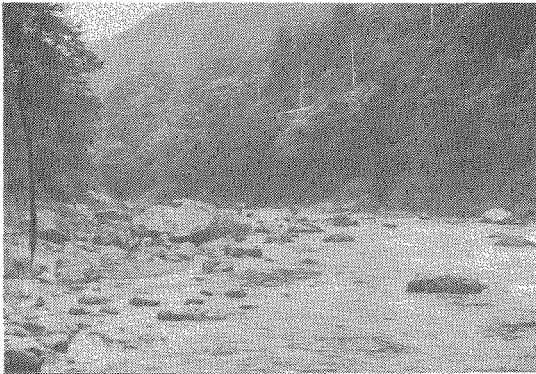
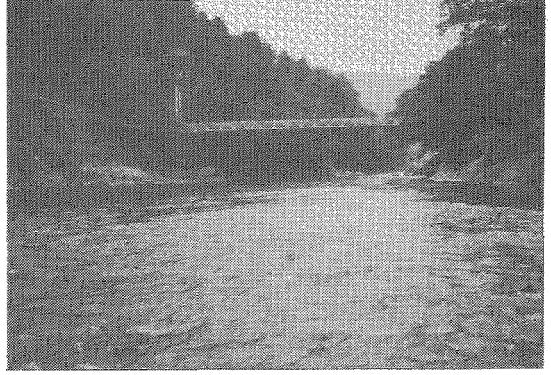
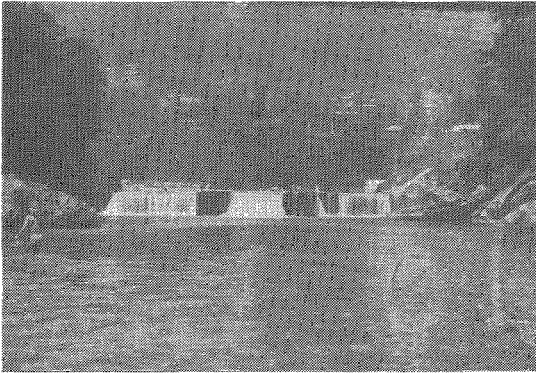
表 4.1 各河川形態区間の特徴(つづき)

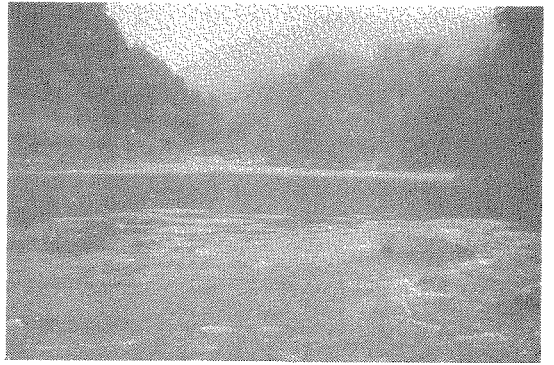
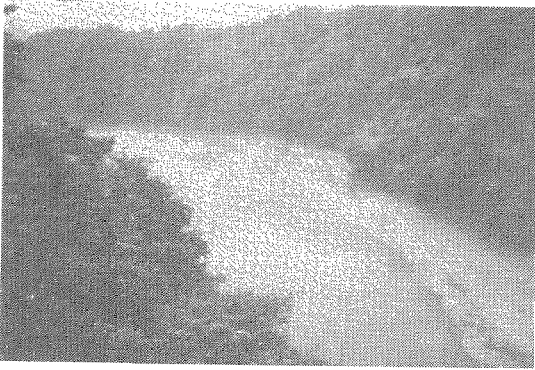
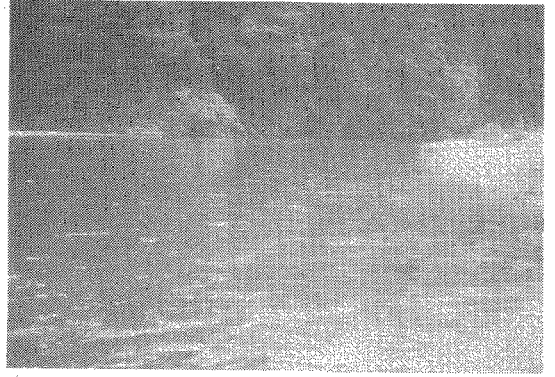
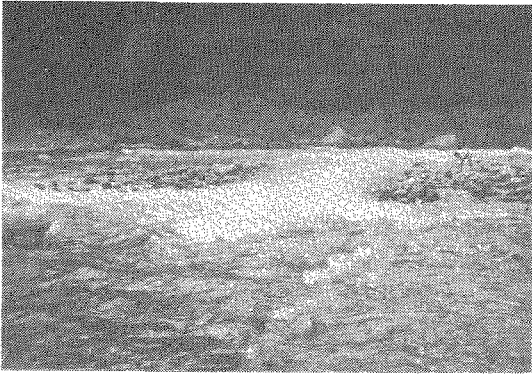
| No. | 形態 ☆ | 流程 (m) | 面積 (m ²) | 区間長 (m) | 幅 (m) | 水深 (m) | 流速 (m/s) | 礫1 (mm) | 礫2 (mm) | 砂 ★ | 釣 (人) | 遊 (人) |
|-----|---------|-----------|-------------------------|------------|----------|-----------|-------------|------------|------------|--------|----------|----------|
| 61 | 2 | 8430.6 | 2050.0 | 102.5 | 20.0 | 0.6 | 0.9 | 50 | 250 | 1 | 3 | 25 |
| 62 | 1 | 8533.1 | 5669.1 | 189.0 | 30.0 | 0.8 | 1.5 | 100 | 700 | 1 | 2 | 0 |
| 63 | 2 | 8722.1 | 8187.8 | 182.0 | 45.0 | 0.8 | 1.1 | 40 | 300 | 1 | 3 | 0 |
| 64 | 2 | 8904.0 | 3458.5 | 138.3 | 25.0 | 0.7 | 0.8 | 30 | 200 | 1 | 0 | 10 |
| 65 | 1 | 9042.3 | 4836.9 | 322.5 | 15.0 | 0.6 | 1.5 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 66 | 2 | 9364.8 | 2178.0 | 108.9 | 20.0 | 0.8 | 0.9 | 50 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 67 | 2 | 9473.7 | 2428.0 | 121.4 | 20.0 | 0.8 | 0.6 | 50 | 150 | 1 | 0 | 0 |
| 68 | 3 | 9595.1 | 6769.0 | 193.4 | 35.0 | 0.7 | 0.5 | 40 | 300 | 1 | 6 | 11 |
| 69 | 2 | 9788.5 | 7759.5 | 221.7 | 35.0 | 0.5 | 0.7 | 30 | 100 | 1 | 4 | 0 |
| 70 | 2 | 10010.2 | 7653.0 | 255.1 | 30.0 | 1.2 | 1.3 | 50 | 300 | 1 | 3 | 0 |
| 71 | 2 | 10265.3 | 2127.5 | 85.1 | 25.0 | 0.8 | 1.0 | 50 | 300 | 1 | 0 | 0 |
| 72 | 2 | 10350.4 | 17977.5 | 399.5 | 45.0 | 0.7 | 1.1 | 30 | 800 | 1 | 1 | 1 |
| 73 | 1 | 10749.9 | 7458.5 | 213.1 | 35.0 | 0.6 | 1.7 | 50 | 400 | 1 | 4 | 1 |
| 74 | 3 | 10963.0 | 5247.0 | 116.6 | 45.0 | 1.0 | 0.8 | 50 | 400 | 1 | 0 | 0 |
| 75 | 2 | 11079.6 | 6174.0 | 176.4 | 35.0 | 0.8 | 1.0 | 50 | 400 | 1 | 0 | 0 |
| 76 | 1 | 11256.0 | 4212.0 | 140.4 | 30.0 | 0.6 | 1.5 | 50 | 400 | 0 | 0 | 0 |
| 77 | 2 | 11396.4 | 10543.5 | 234.3 | 45.0 | 0.8 | 1.0 | 60 | 100 | 1 | 0 | 0 |
| 78 | 2 | 11630.7 | 16952.0 | 260.8 | 65.0 | 0.9 | 0.9 | 70 | 70 | 1 | 1 | 0 |
| 79 | 1 | 11891.5 | 2912.0 | 83.2 | 35.0 | 0.8 | 1.1 | 70 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 2 | 11974.7 | 9352.0 | 267.2 | 35.0 | 0.8 | 1.2 | 100 | 150 | 0 | 2 | 0 |
| 81 | 1 | 12241.9 | 3804.0 | 126.8 | 30.0 | 0.7 | 1.8 | 100 | 150 | 0 | 3 | 4 |
| 82 | 3 | 12368.7 | 2169.7 | 166.9 | 13.0 | 1.1 | 1.3 | 100 | 150 | 1 | 0 | 20 |
| 83 | 2 | 12535.6 | 2736.0 | 60.8 | 45.0 | 0.7 | 0.6 | 5 | 5 | 1 | 0 | 20 |
| 84 | 1 | 12596.4 | 1026.0 | 68.4 | 15.0 | 0.8 | 1.6 | 200 | 500 | 0 | 1 | 10 |
| 85 | 1 | 12664.8 | 6168.4 | 220.3 | 28.0 | 0.8 | 1.9 | 200 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 86 | 2 | 12885.1 | 2958.0 | 98.6 | 30.0 | 0.5 | 1.3 | 100 | 100 | 1 | 0 | 50 |
| 87 | 2 | 12983.7 | 9735.0 | 194.7 | 50.0 | 0.8 | 0.9 | 50 | 50 | 1 | 4 | 50 |
| 88 | 1 | 13178.4 | 1468.8 | 122.4 | 12.0 | 1.0 | 3.3 | 300 | 500 | 0 | 0 | 6 |
| 89 | 2 | 13300.8 | 3563.3 | 274.1 | 13.0 | 0.8 | 1.3 | 100 | 300 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 2 | 13574.9 | 7844.0 | 196.1 | 40.0 | 0.6 | 1.3 | 150 | 300 | 0 | 3 | 10 |
| 91 | 2 | 13771.0 | 3185.0 | 91.0 | 35.0 | 0.7 | 1.4 | 150 | 150 | 1 | 0 | 20 |
| 92 | 3 | 13862.0 | 10273.5 | 228.3 | 45.0 | 0.8 | 0.7 | 30 | 30 | 1 | 5 | 40 |
| 93 | 1 | 14090.3 | 4626.3 | 220.3 | 21.0 | 0.4 | 1.6 | 300 | 500 | 0 | 2 | 0 |
| 94 | 2 | 14310.6 | 22116.0 | 368.6 | 60.0 | 0.6 | 1.3 | 40 | 500 | 1 | 12 | 1 |
| 95 | 2 | 14679.2 | 7030.0 | 140.6 | 50.0 | 0.3 | 0.5 | 150 | 800 | 0 | 3 | 0 |
| 96 | 3 | 14819.8 | 23780.0 | 475.6 | 50.0 | 0.9 | 1.0 | 30 | 30 | 1 | 4 | 5 |
| 97 | 1 | 15295.4 | 2732.0 | 136.6 | 20.0 | 1.1 | 1.3 | 300 | 300 | 0 | 4 | 0 |
| 98 | 2 | 15432.0 | 20120.0 | 503.0 | 40.0 | 0.9 | 1.2 | 50 | 300 | 1 | 20 | 25 |
| 99 | 2 | 15935.0 | 33992.0 | 849.8 | 40.0 | 0.6 | 1.7 | 100 | 500 | 0 | 5 | 40 |
| 100 | 2 | 16784.8 | 8825.0 | 176.5 | 50.0 | 0.7 | 1.2 | 100 | 100 | 0 | 3 | 60 |
| 101 | 2 | 16961.3 | 14465.5 | 413.3 | 35.0 | 0.6 | 1.4 | 120 | 120 | 0 | 3 | 0 |
| 102 | 2 | 17374.6 | 5005.0 | 200.2 | 25.0 | 1.1 | 0.9 | 30 | 250 | 0 | 2 | 5 |
| 103 | 3 | 17574.8 | 31168.0 | 389.6 | 80.0 | 1.1 | 0.2 | 150 | 150 | 1 | 9 | 0 |
| 104 | 1 | 17964.4 | 4120.0 | 206.0 | 20.0 | 0.7 | 1.7 | 90 | 90 | 0 | 8 | 0 |
| 105 | 1 | 18170.4 | 3207.9 | 188.7 | 17.0 | 0.8 | 1.6 | 40 | 400 | 0 | 8 | 0 |
| 106 | 2 | 18359.1 | 21798.0 | 363.3 | 60.0 | 0.7 | 0.6 | 120 | 120 | 1 | 8 | 0 |
| 107 | 2 | 18722.4 | 2547.0 | 84.9 | 30.0 | 0.5 | 0.8 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| 108 | 1 | 18807.3 | 2274.0 | 75.8 | 30.0 | 0.4 | 1.0 | 180 | 180 | 0 | 0 | 0 |
| 109 | 2 | 18883.1 | 7470.0 | 298.8 | 25.0 | 0.4 | 0.7 | 50 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| 110 | 1 | 19181.9 | 2352.6 | 130.7 | 18.0 | 0.4 | 1.7 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| 111 | 2 | 19312.6 | 6775.0 | 271.0 | 25.0 | 0.8 | 0.8 | 50 | 250 | 0 | 12 | 4 |
| 112 | 1 | 19583.6 | 1878.0 | 93.9 | 20.0 | 0.6 | 1.3 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| 113 | 1 | 19677.5 | 6156.0 | 205.2 | 30.0 | 0.5 | 1.5 | 50 | 50 | 0 | 4 | 0 |
| 114 | 2 | 19882.7 | 6594.0 | 188.4 | 35.0 | 0.5 | 1.3 | 30 | 400 | 0 | 2 | 0 |
| 115 | 3 | 20071.1 | 4018.0 | 114.8 | 35.0 | 1.5 | 0.2 | 80 | 200 | 1 | 0 | 0 |
| | | 20185.9 | 638959.6 | | | | | | | 49 | 259 | 951 |

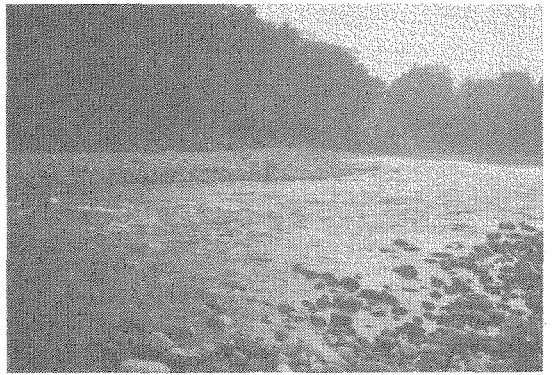
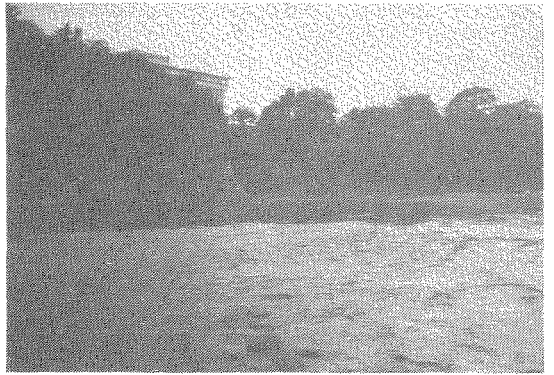
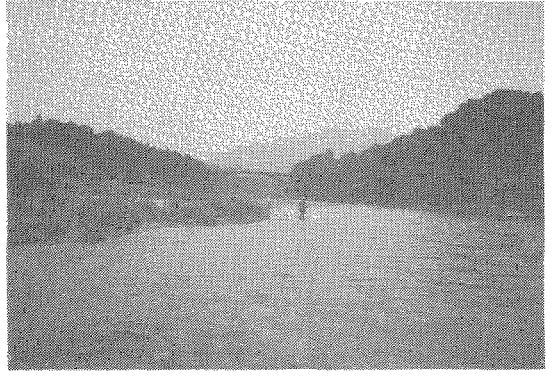
☆ 早瀬：1，平瀬：2，淵：3

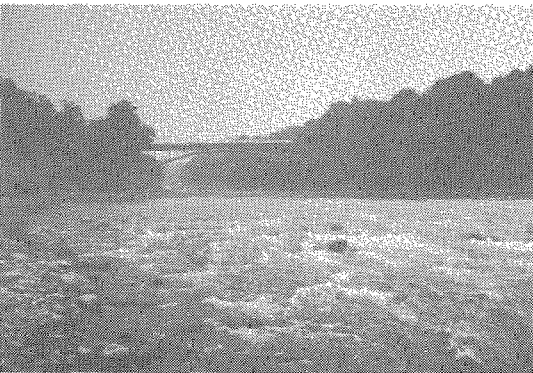
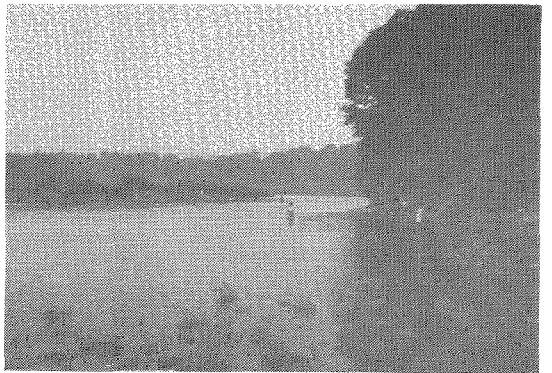
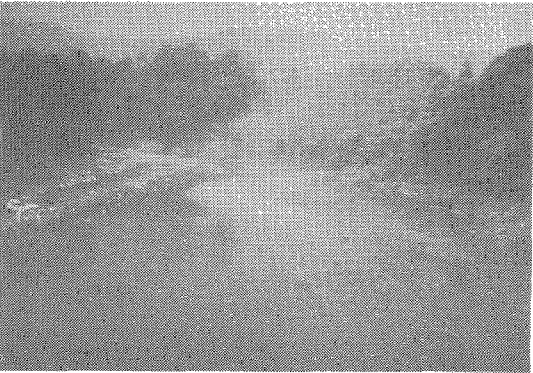
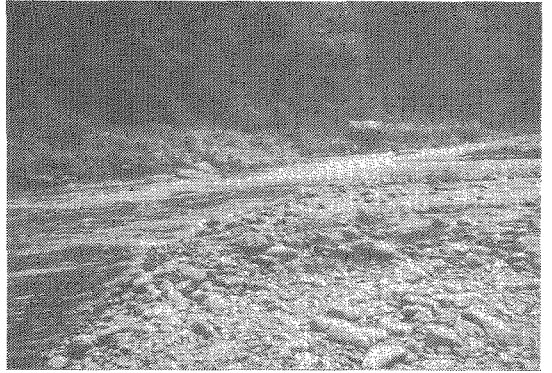
★ 砂床が主である：1，砂床とは言えない：0

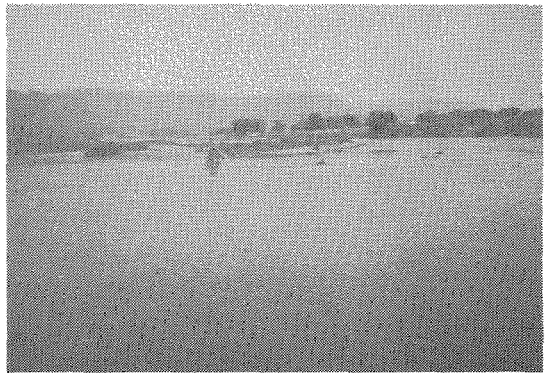
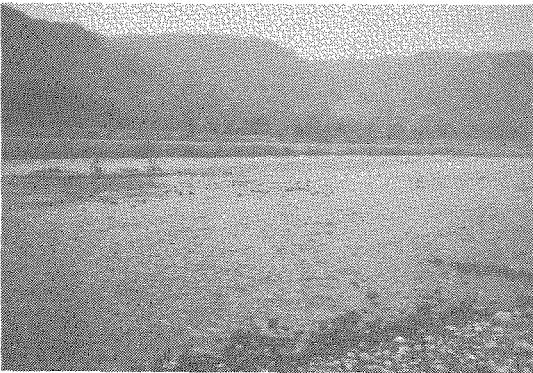
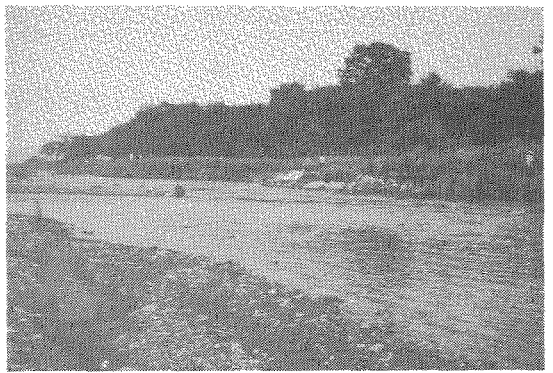
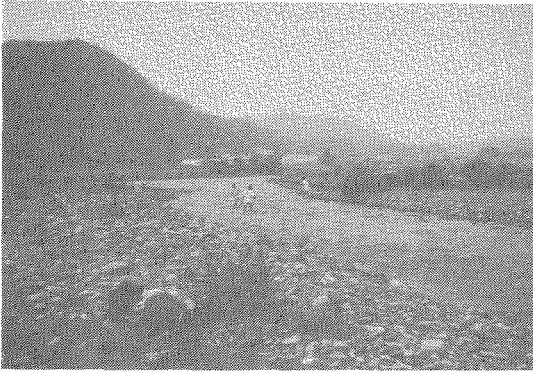
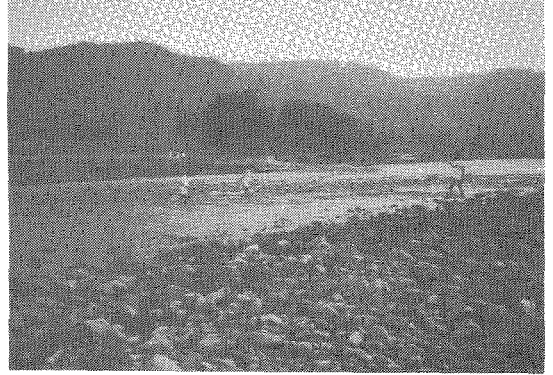
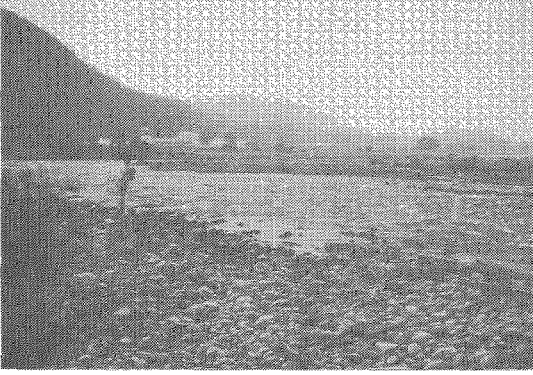
写真 4.1











河川形態別水深確立密度分布

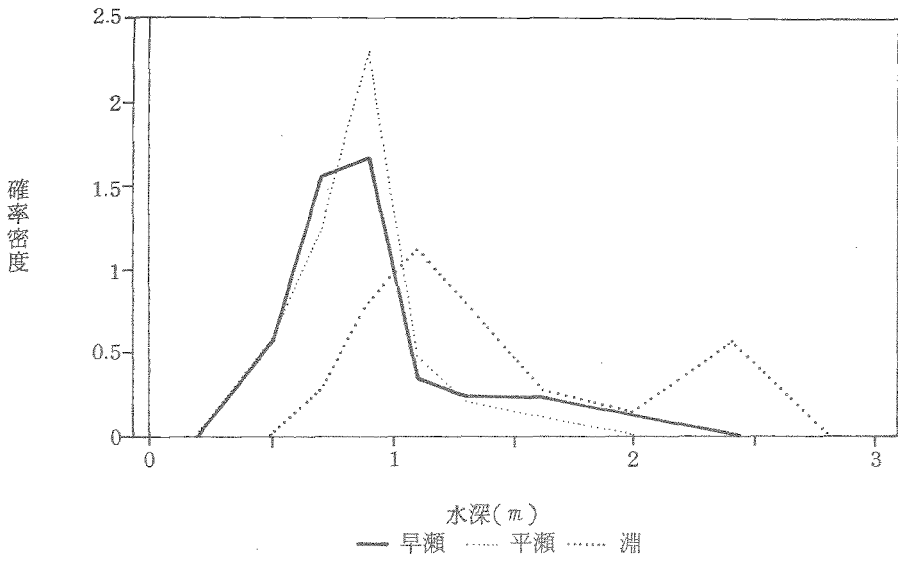


图 4.4 河川形態別水深確立密度分布

河川形態別流速確率密度分布

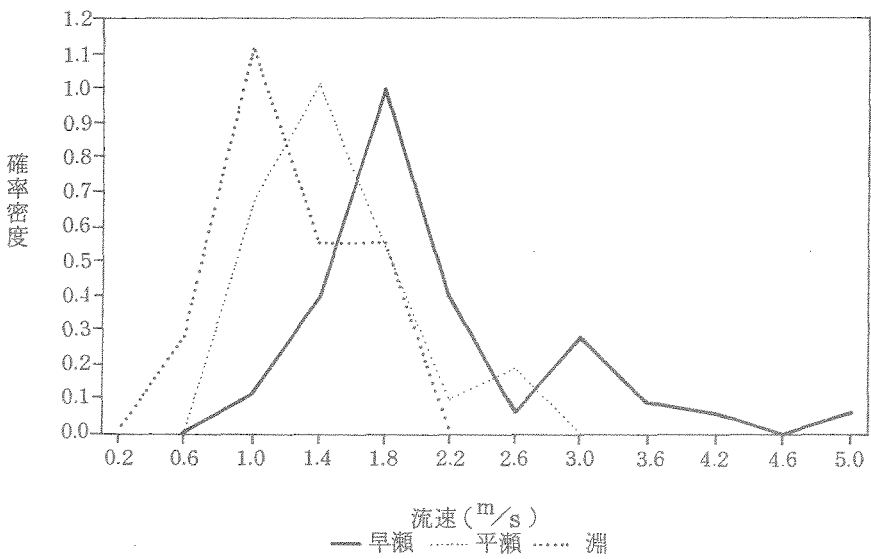


图 4.5 河川形態別流速確率密度分布

河川形態別礫2 確率密度分布

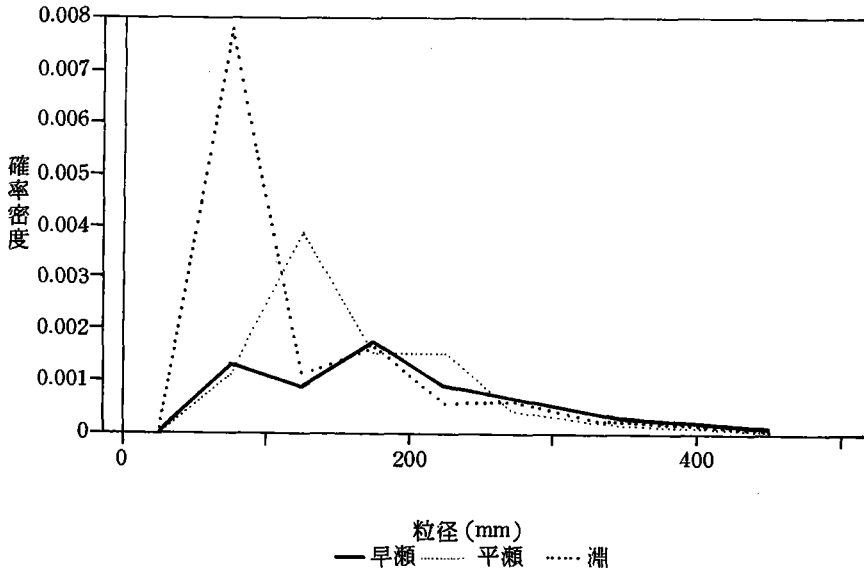


図 4.6 河川形態別敷石状礫代表粒径確立密度分布

河川形態別礫1 確立密度分布

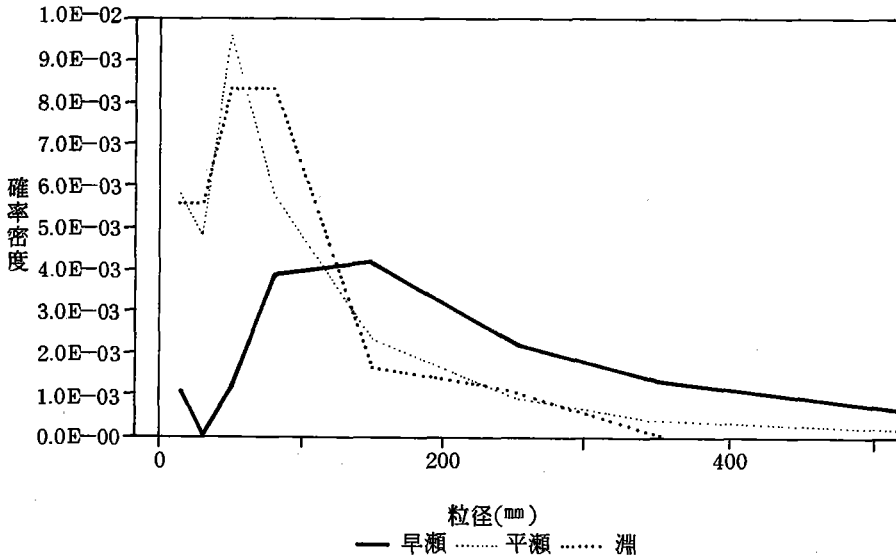


図 4.7 河川形態別置石状礫代表粒径確率密度分布

河川形態別砂床頻度

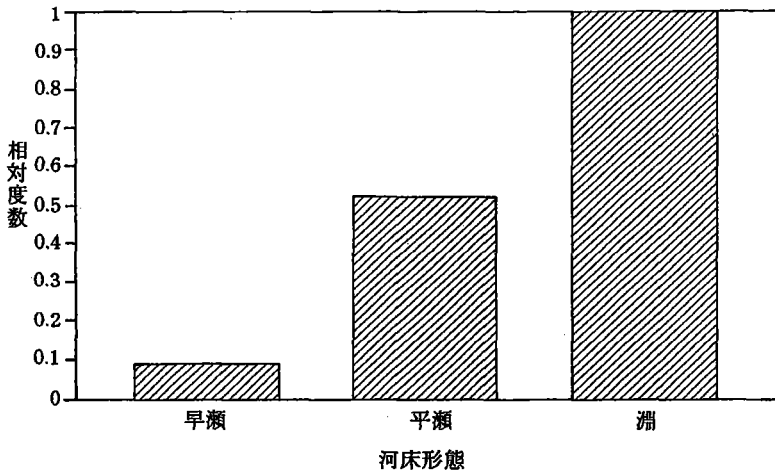


図 4.8 河川形態別砂床頻度

な印象から判別した河川形態が、それぞれの項目において明確な相違を示すことがわかった。このことは今回の調査結果の正当性を表すだけでなく今後の研究において、より詳細で定量的な成果を期待できることを示唆している。今回の調査項目と河川形態との対応を表 4.2 にまとめて記しておく。

なお、得られた河川形態が相互にどのような連鎖で出現しているかを、図 4.9 に連続的な分布として掲げる。

表 4.2 河川形態の諸特性の代表値

| | 早瀬 | 平瀬 | 淵 |
|----------|-----|------|-------|
| 水深 (m) | 0.8 | 0.8 | 1.5 |
| 流速 (m/s) | 1.8 | 1.4 | 1.0 |
| 礫 1 (mm) | 120 | 60 | 50 |
| 礫 2 (mm) | 140 | 120 | 80 |
| 砂床面積率(%) | 9.0 | 53.2 | 100.0 |

4.5 基準放流密度の算定

本調査で得られた総面積は、従来のもの(973,700 m²)と比べて約 340,000 m²の相違(約 36%)がある。したがって、今回の結果を用いて絶対的な基準放流量を算定するには無理があろう。しかしながら図 4.10 に示されるように、早瀬・平瀬・淵の累計面積の比は場所によらず殆ど一定であり、このことは相対的な割合に関してはある程度無理のない値が得られることを意味している。そこで、総量的な放流量でなく単位面積当りの放流密度を算定することにする。

アユの放流研究部会が提案するアユの生息尾数算定法は河川形態ごとに次のようになる。

- ① 早瀬： $0.6 \times (\text{単位面積当りの早瀬の石表面積} / \text{単位面積当りの平瀬の石表面積}) \times (\text{早瀬の水面積 } m^2)$
- ② 平瀬： $0.6 \times (\text{平瀬の水面積 } m^2)$

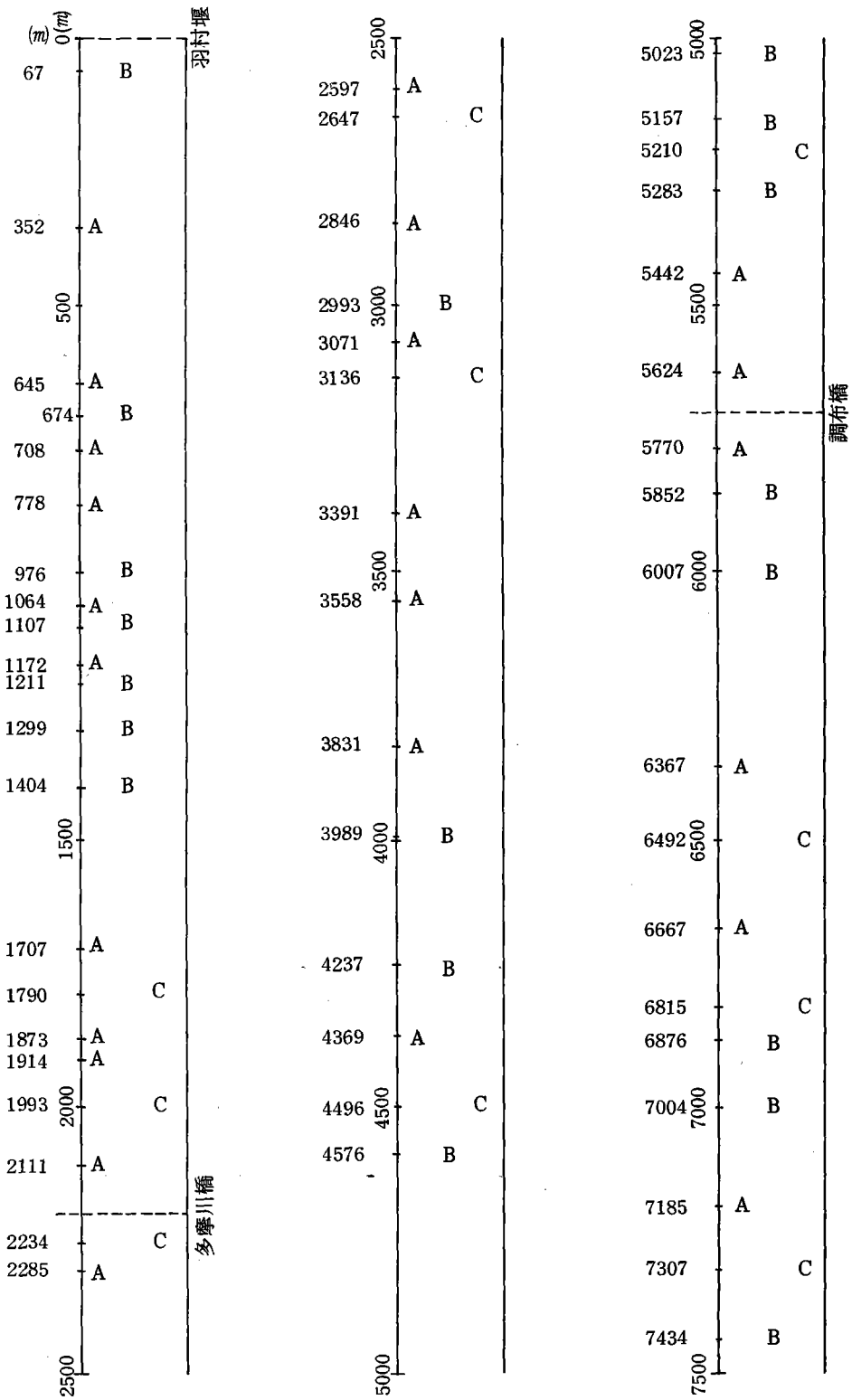


図 4.9 河川形態の分布〔A：早瀬，B：平瀬，C：淵〕

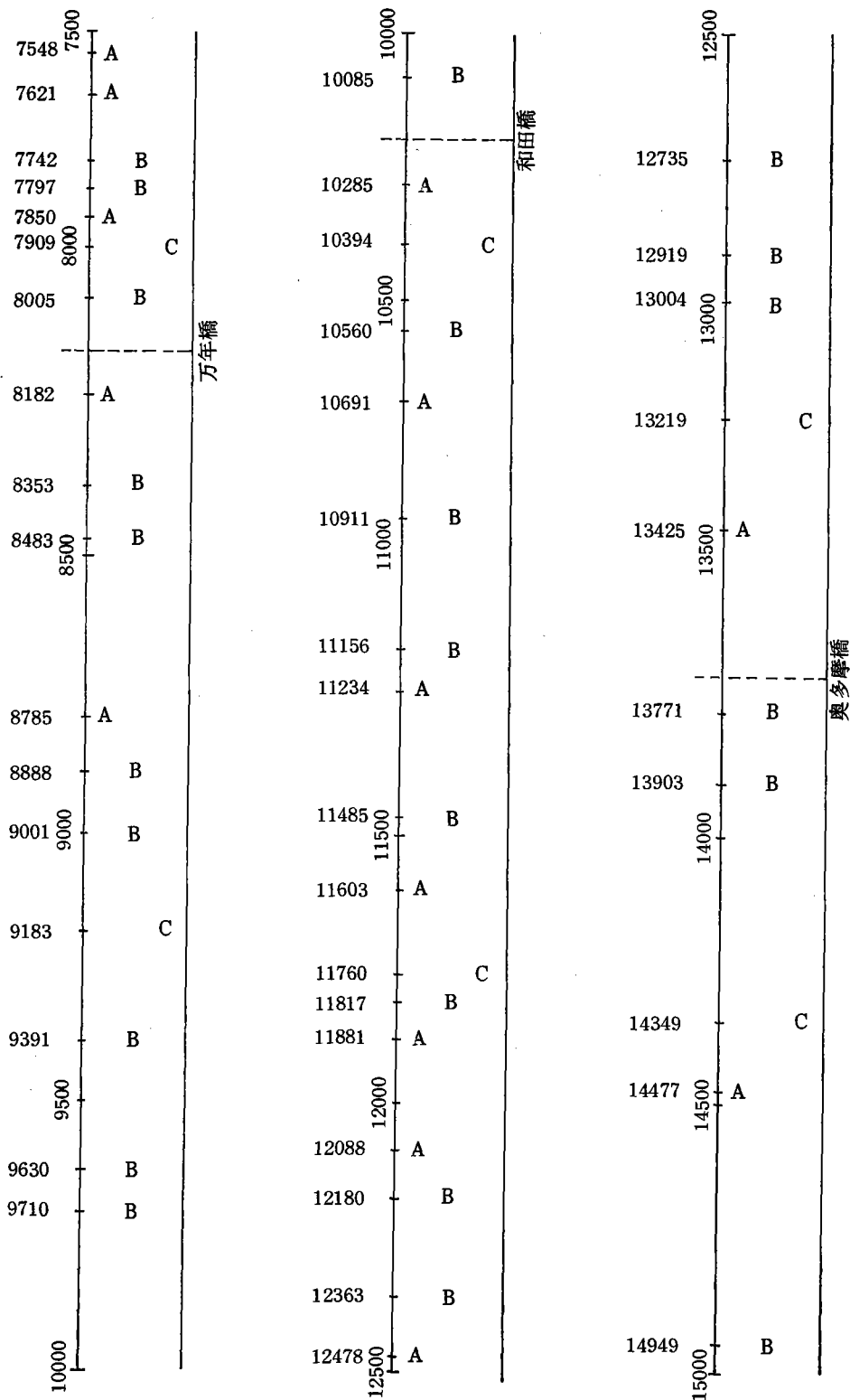


図 4.9 (つづき 1)

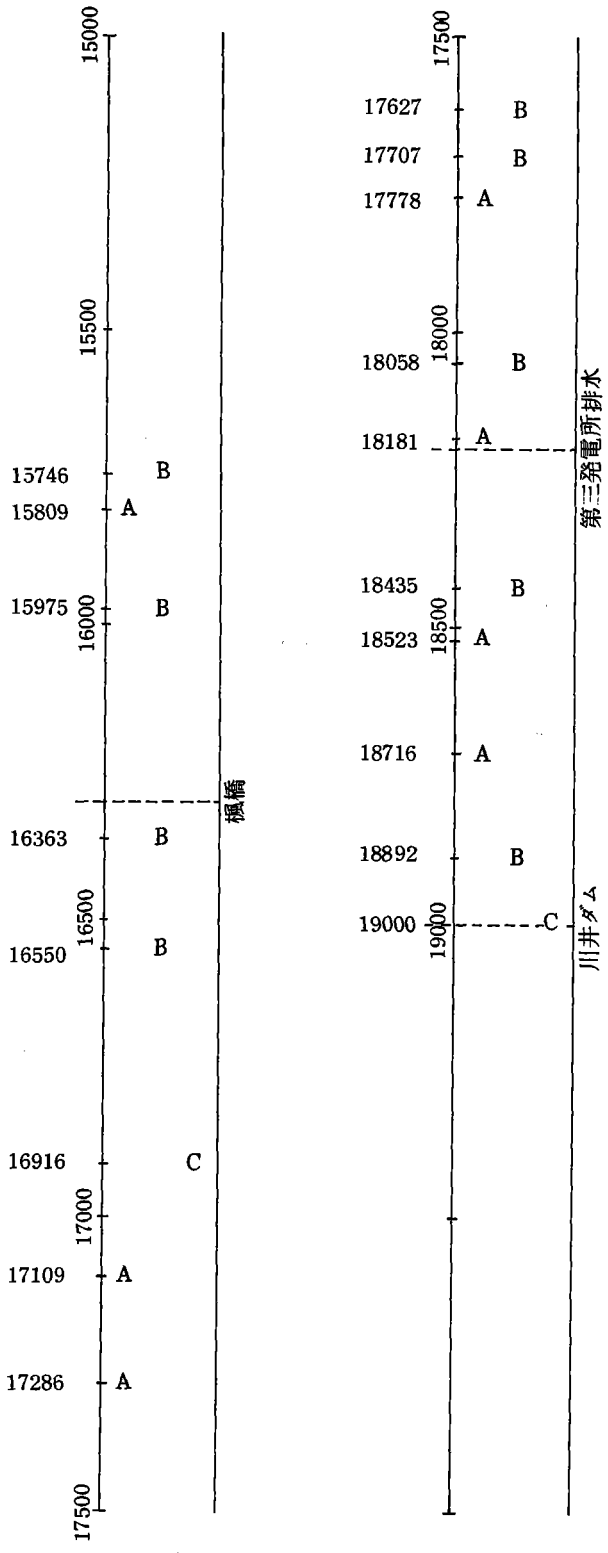


図 4.9 (つづき 2)

③ 淵： $0.6 \times (\text{単位面積当りの淵の石表面積} / \text{単位面積当りの平瀬の石表面積})$
 $\times (\text{淵の水面積 } m^2) + 0.2 \times (\text{淵の岩盤の側面積 } m^2)$

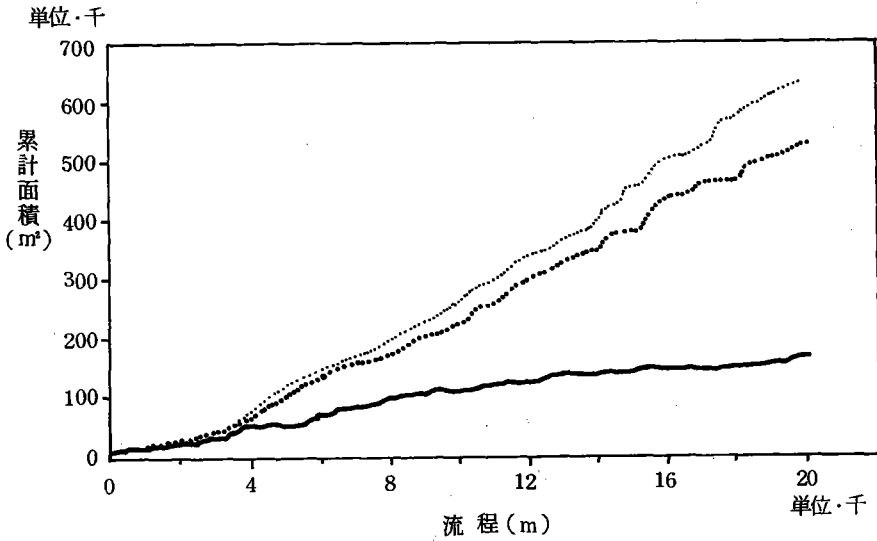


図 4.10 早瀬・平瀬・淵の累計面積

そして、上の①・②・③の合計が対象地域全体の許容生息尾数の予想値となる。基準放流量は、一般にアユの放流から解禁までの生残率を50%として、許容生息尾数の2倍とする。

ここで問題となるのは、石表面積の比である。これは本調査においては直接測定していない項目であり、なんらかの根拠ある数値を算出する必要がある。ここでは便宜上、河川形態ごとのエルゴード性を仮定して

$$(\text{石表面積比}) = \frac{[100 - (\text{砂床面積率}\%)]}{[100 - (\text{平瀬の砂床面積率}\%)]}$$

とする。

この石表面積比を採用し、また累計総面積を単なる重みとして用いて、 $1000 m^2$ 当りの許容生息密度および基準放流密度を算定した結果を表3に示す。算定された 128.5 (尾/ $1000 m^2$)という数値は、昭和59年の実績 82.6 (尾/ $1000 m^2$)を40%ほど上回るものである。これは当時はアユの生残率を考慮せずに放流量を決定したため、今後は今回のように生残率を含めて放流量を考える必要がある。

表 4.3 基準放流密度

| | 早瀬 | 平瀬 | 湖 | 計平均 |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 石表面積比 | 1.95 | 1.00 | 0.00 | |
| 総水面積 (m^2) | 163399.1 | 366022.1 | 109538.5 | 638959.7 |
| 総側面積 (m^2) | | | 3207.9 | |
| 許容生息密度 (尾/100 m^2) | 116.3 | 60.0 | 0.6 | 64.3 |
| 基準放流密度 (尾/100 m^2) | 232.6 | 120.0 | 1.2 | 128.5 |

4.6 アユ放流量，釣果との関係

今回、河川形態および水理量の調査を行った区間は、東京都の奥多摩漁業協同組合が漁業権を得ている区間に含まれている。この区間においては東京都水産試験所が昭和57年から昭和59年にかけて、漁獲尾数、放流尾数などの調査を行っている。^{*} それらの結果を、区間の分割図とともにまとめたものが図4.11～図4.13である。この結果を見ると、柳瀬橋を中心とする第2区および第3区において100 m^2 当りの魚獲尾数が大きいことが分かる。この数値は白丸ダム上流においても大きくなっているが、これは白丸ダムにより下流への移動が不可能になっていることにも一因があると考えられる。昭和57年には8月1日に大型台風が襲来したので、8月以後の魚獲尾数、出漁人数ともに急激に減少している。

また、昭和58年においては8月15日に台風が襲来していることが、矢張りその後の魚獲および出漁人数に影響している。これは大きな出水があるとアユが居なくなり、藻類の条件も回復に非常に時間がかかることを釣人達がよく知っている故と考えられる(表4.4～4.9参照)。

図4.14は河川形態の調査結果を地先ごとに区分したものである。アユは早瀬で摂餌し、湖で休むと言われている。早瀬には一番上質の藻類が繁殖する故であると想像されている。各区間において早瀬が占める面積割合と、単位面積当りの魚獲尾数との関係を眺めてみると、それ程強い相関は見られないようである。例年、調布橋～万年橋の区間と第三発電所～川井ダムの区間が高い魚獲値を示している。しかし、これらの区間が際立って特異な形態をしているとは思われない。ただ、かなりの確実性で言えることは奥多摩橋～楓橋の区間のように早瀬の割合が極めて低いところでは、十分な摂餌ができないためアユの棲息数が少なく、従って、ここでは単位面積当りの魚獲尾数も低くなっているものと考えられる。

図4.15、図4.16は単位努力当りの魚獲尾数と累積魚獲尾数との関係を示す。この図における曲線の傾きは、いわゆる生残率を表わし、対象区域での発生・消滅が無ければ直線的に減少することが知られている。図4.15、図4.16の区間長はかなり異なるが、放流の資料がこの2区間に分けてのみ示さ

* 全国総点検調査(水銀等)報告書(多摩川におけるダム等の河川工作物設置による漁業に及ぼす影響調査)、水産庁(受託者東京都)、1983、1984、1985

表 4.4 昭和57年 月別・地区別延出漁人(回)数

| 地 区 | 出漁者数 | 全地区に対 する 出漁者比率 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10月 | 計 |
|-----|------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | | 人 | 人 | 人 | 人 | 人 | |
| 羽 村 | 76 | 15 | 73 | 148 | 15 | 6 | 0 | 242 |
| 調 布 | 115 | 22 | 108 | 217 | 21 | 9 | 0 | 355 |
| 青 梅 | 152 | 28 | 137 | 276 | 26 | 11 | 0 | 450 |
| 吉 野 | 71 | 14 | 68 | 138 | 14 | 6 | 0 | 226 |
| 三 田 | 57 | 11 | 54 | 109 | 11 | 4 | 0 | 178 |
| 古 里 | 29 | 6 | 29 | 59 | 6 | 2 | 0 | 96 |
| 永 川 | 10 | 2 | 10 | 20 | 2 | 1 | 0 | 33 |
| 茂 木 | 9 | 2 | 10 | 20 | 2 | 1 | 0 | 33 |
| 計 | 519 | 100 | 489 | 987 | 97 | 40 | 0 | 1,613 |

注1 地区別延出漁人(回)数：(月別延出漁回数)×(全地区に対する出漁者比率)

2 8月1日大型台風

表 4.5 昭和57年アンケート結果

(a) 調査対象者となった組合員とアンケート回答数および出漁率

| 区分 地区別 | 回答のあつた総代の統 括組合員数 (人) (A) | (A)のうち出 漁したと認 識されてい た組合員数 (B)(人) | (B)のうちア ンケート用 紙を配付し た組合員数 (人) | アンケ ート回 答 数 (枚) | アンケ ートの 回答率 (%) | 出漁が確認 された組合 員数と割合 | | 出漁者 数 B×C (D)(人) | 出 漁 率 (D÷A ×100) % |
|-----------|-----------------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | (人) | (%) | | |
| 羽 村 | 169 | 102 | 86 | 43 | 50.0 | 32 | 74.4 | 76 | 45 |
| 調 布 | 240 | 123 | 105 | 49 | 51.5 | 46 | 93.9 | 115 | 48 |
| 青 梅 | 306 | 160 | 137 | 77 | 56.2 | 73 | 94.8 | 152 | 50 |
| 吉 野 | 138 | 76 | 62 | 30 | 48.4 | 28 | 93.3 | 71 | 51 |
| 三 田 | 132 | 75 | 59 | 21 | 35.6 | 16 | 76.2 | 57 | 43 |
| 古 里 | 92 | 29 | 23 | 12 | 52.2 | 12 | 100.0 | 29 | 32 |
| 永 川 | 29 | 10 | 10 | 5 | 50.0 | 5 | 100.0 | 10 | 34 |
| 茂 木 | 18 | 18 | 14 | 6 | 42.9 | 3 | 50.0 | 9 | 50 |
| 合 計 | 1,124 | 593 | 496 | 243 | 49.0 | 215 | | 519 | 46 |

(b) 月別延出漁回数

| 月 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 合計 |
|-------|------|------|-----|-----|----|-------|
| 回数(回) | 489 | 987 | 97 | 40 | 0 | 1,613 |
| 比率(%) | 30.3 | 61.2 | 6.1 | 2.5 | 0 | 100 |

(c) 出漁頻度

| 出漁回数(回) | 人員(人) | 比率(%) |
|---------|-------|-------|
| 1~5 | 118 | 54.8 |
| 6~10 | 54 | 25.1 |
| 11~15 | 20 | 9.8 |
| 16~20 | 12 | 5.6 |
| 21~25 | 2 | 1.0 |
| 26~30 | 5 | 2.8 |
| 31~35 | 3 | 1.0 |
| 46~50 | 1 | 0.5 |

表 4.6 昭和58年 月別・地区別延出漁人(回)数

| 地区 | 出漁者数 | 全地区に対する 出漁者比率 | | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 計 |
|-----|------|------------------|---|-----|-------|-----|-----|-----|-------|
| | | 人 | % | | | | | | |
| 羽村 | 87 | 15 | | 80 | 164 | 94 | 18 | 2 | 358 |
| 調布市 | 87 | 15 | | 80 | 164 | 94 | 18 | 2 | 358 |
| 青梅 | 188 | 33 | | 175 | 359 | 208 | 38 | 5 | 785 |
| 吉野 | 74 | 13 | | 69 | 142 | 82 | 15 | 2 | 310 |
| 三田 | 70 | 12 | | 64 | 131 | 75 | 14 | 2 | 286 |
| 古里 | 45 | 8 | | 43 | 87 | 50 | 9 | 1 | 190 |
| 氷川 | 14 | 2 | | 11 | 22 | 13 | 2 | 1 | 49 |
| 成木 | 9 | 2 | | 11 | 22 | 13 | 2 | 1 | 49 |
| 計 | 574 | 100 | | 533 | 1,091 | 629 | 116 | 16 | 2,385 |

注1 8月15日台風

表 4.7 昭和58年アンケート結果

(a) アンケートに回答した組合員の出漁状況

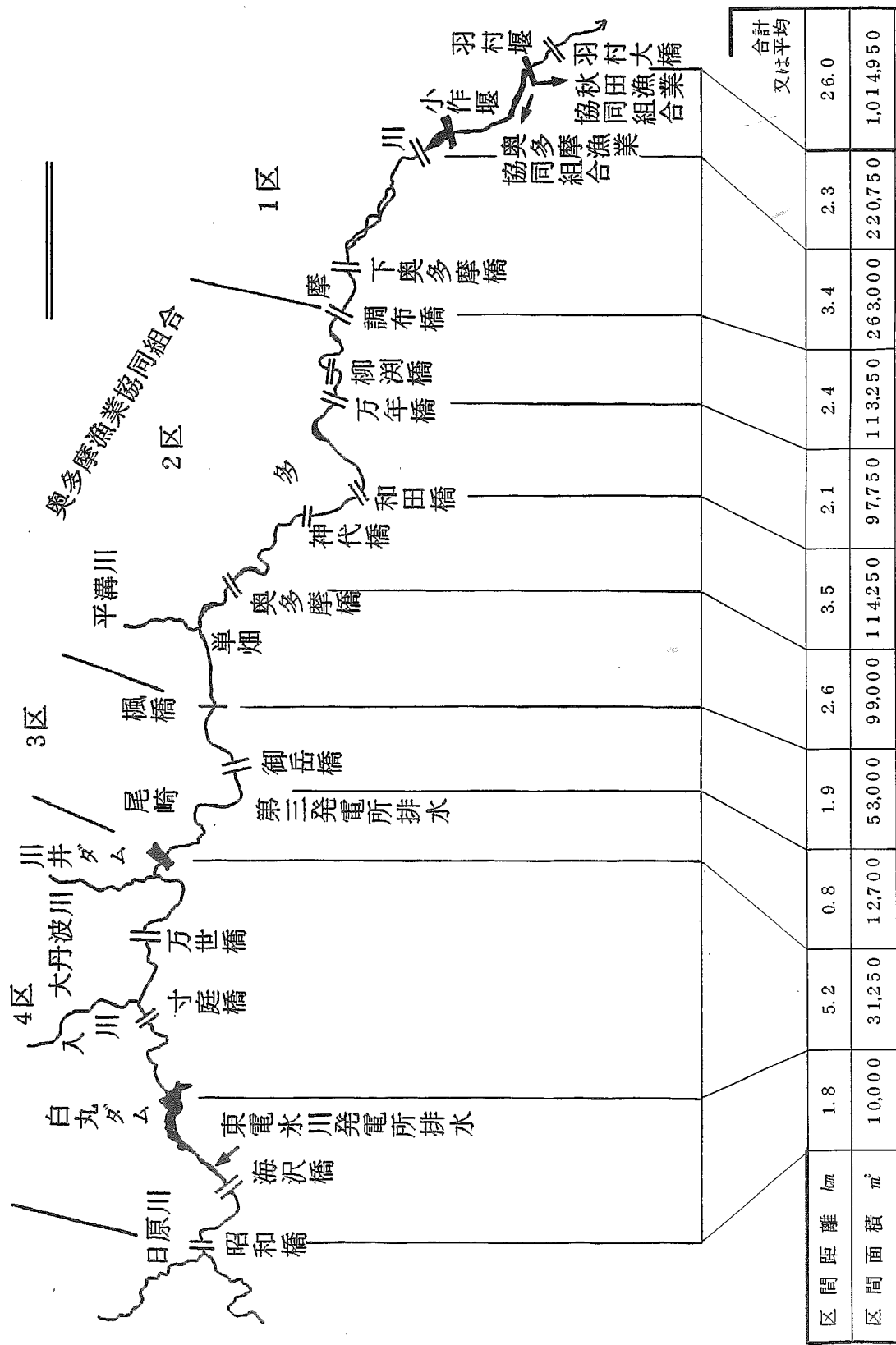
| 区分 地区別 | 回答のあつた総代の統括組合員数 「A」(人) | 「A」のうち出漁したと認識されていた組合員数 (アンケート配付組合員数) 「B」(人) | アンケート回答者数 (率%) (人)(%) | 回答により出漁が確認された組合員数 (人)〔C〕% | 出漁者数 「B」×「C」 「D」(人) | 出漁率 「D」÷「A」×100 (%) |
|-----------|---------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 羽村 | 200 | 104 | 42(40.4) | 35(83.3) | 87 | 44 |
| 調布市 | 181 | 102 | 35(34.3) | 30(85.7) | 87 | 48 |
| 青梅 | 350 | 207 | 89(43.0) | 81(91.0) | 188 | 54 |
| 吉野 | 142 | 79 | 16(20.3) | 15(93.8) | 74 | 52 |
| 三田 | 151 | 84 | 31(37.0) | 26(83.9) | 70 | 46 |
| 古里 | 162 | 53 | 26(49.1) | 22(84.6) | 45 | 28 |
| 氷川 | 29 | 14 | 4(28.6) | 4(100.0) | 14 | 48 |
| 成木 | 17 | 9 | 3(33.3) | 3(100.0) | 9 | 53 |
| 合計 | 1,232 | 652 | 246(37.7) | 216 | 574 | 46.6 |

(b) 月別出漁回数

| 月 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 合計 |
|---------------|------|------|------|-----|-----|---------------|
| 出漁頻度 1～5回(人) | 131 | 117 | 114 | 36 | 2 | 400 (80)※1 |
| 出漁頻度 6～10回(人) | 27 | 52 | 23 | 2 | 1 | 105 (59) |
| 出漁頻度 11回以上(人) | 1 | 21 | 12 | 2 | 0 | 36 (76) |
| 員小計(人) | 159 | 149 | 149 | 40 | 3 | 541 (216) |
| 延出漁人(回数)(人) | 533 | 1091 | 629 | 116 | 16 | 2835 |
| 一人の出漁回数(回) | 3.3 | 5.7 | 4.2 | 2.9 | 5.3 | ※2 4.4 (11.0) |
| 出漁可能日数(日) | 12 | 31 | 31 | 30 | 31 | 135 |
| 一日の出漁人数(人) | 44.4 | 35.2 | 20.3 | 3.9 | 0.5 | ※2 17.7 |

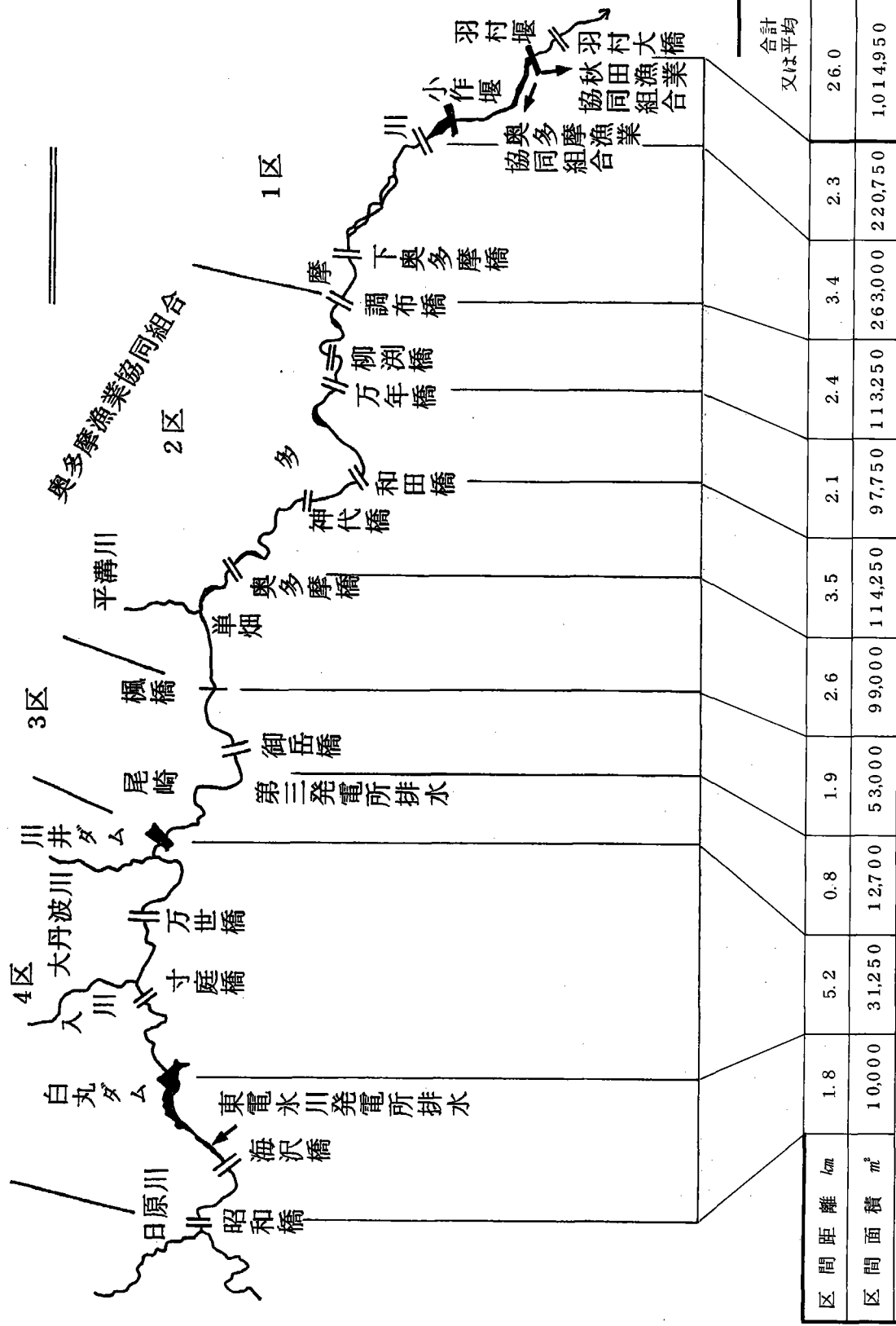
※1 ()内は6～10月を単純に合計しないで、6～10月を通しての数字

※2 平均値



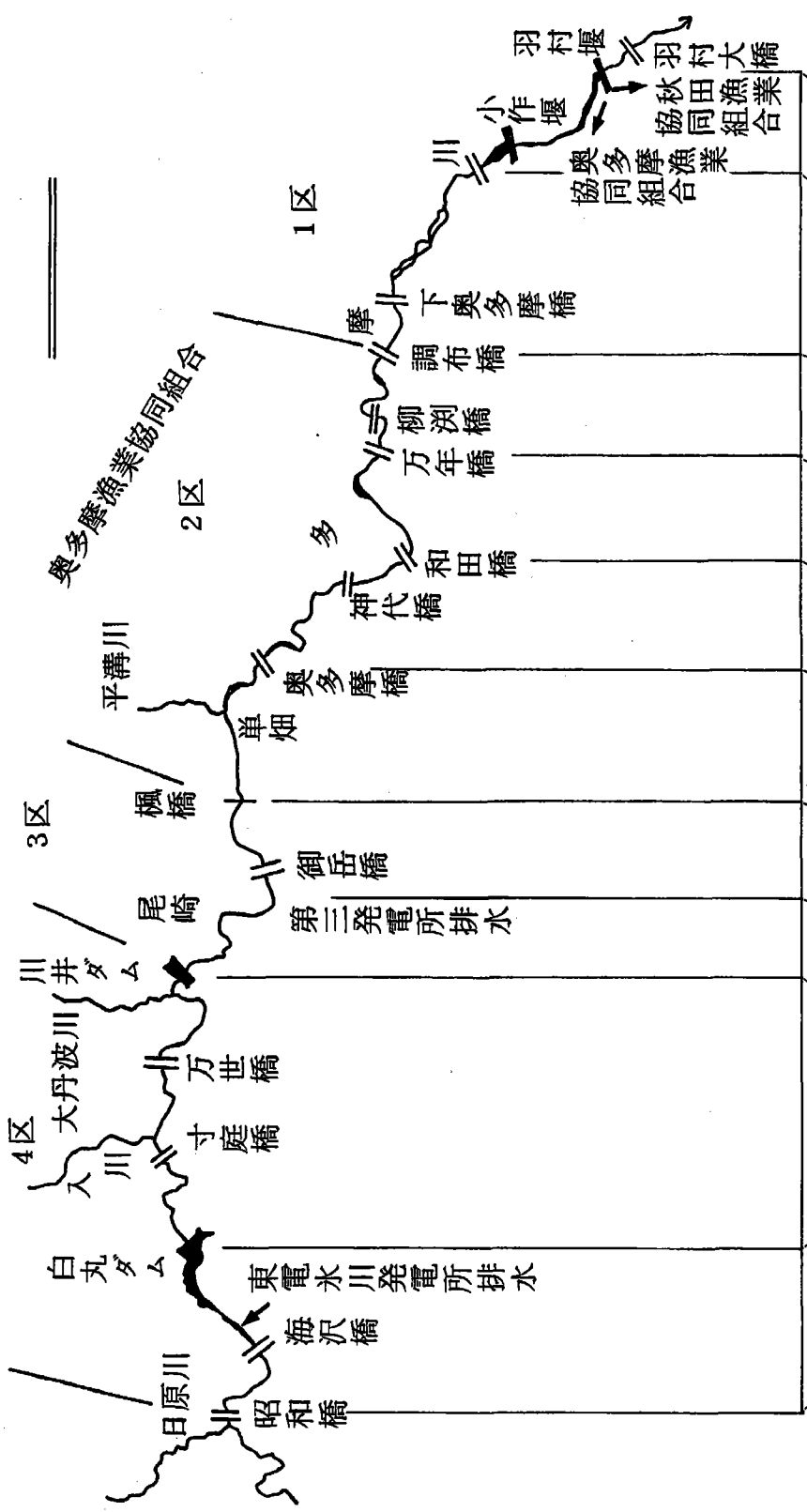
| 区間距離 km | 1.8 | 5.2 | 0.8 | 1.9 | 2.6 | 3.5 | 2.1 | 2.4 | 3.4 | 2.3 | 26.0 | 合計 又は平均 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|-----------|------------|
| 区間面積 m ² | 10,000 | 31,250 | 12,700 | 53,000 | 99,000 | 114,250 | 97,750 | 113,250 | 263,000 | 220,750 | 1,014,950 | |
| 月別、地先別 魚獲尾数 | 6月 | 212 | 38 | 263 | 407 | 202 | 382 | 971 | 897 | 537 | 4,295 | |
| | 7 | 103 | 37 | 401 | 942 | 300 | 1,192 | 1,641 | 1,221 | 632 | 7,131 | |
| | 8 | 0 | 1 | 5 | 39 | 58 | 85 | 92 | 2 | 102 | 101 | 475 |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 0 | 175 | 48 | 229 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 計 | 315 | 76 | 669 | 1,388 | 562 | 1,659 | 1,134 | 2,614 | 2,395 | 1,318 | 12,130 | |
| 月別、地先別 100 m ² 当り魚獲尾数 | 6月 | 2.12 | 0.12 | 2.07 | 0.77 | 0.20 | 0.33 | 0.39 | 0.34 | 0.24 | 0.42 | |
| | 7 | 1.03 | 0.12 | 3.16 | 1.78 | 0.3 | 1.04 | 0.68 | 0.46 | 0.27 | 0.70 | |
| | 8 | 0 | 0 | 0.04 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0 | 0.04 | 0.05 | |
| | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 計 | 3.15 | 0.24 | 5.27 | 2.62 | 0.57 | 1.45 | 1.16 | 2.31 | 0.91 | 0.60 | 1.20 | |
| 放流尾数 | 種重量 Kg | 15 | 25 | 90 | 1,950 | | | | | | 2,080 | |
| | 魚換算尾数 | 3,750 | 6,250 | 22,500 | 487,500 | | | | | | 520,000 | |
| | 成魚 | 500 | 1,000 | 1,500 | 32,000 | | | | | | 35,000 | |
| | 計 | 4,250 | 7,250 | 24,000 | 519,500 | | | | | | 555,000 | |

図 4.1.1 多摩川上流域での鮎の漁獲と放流 (昭和57年)



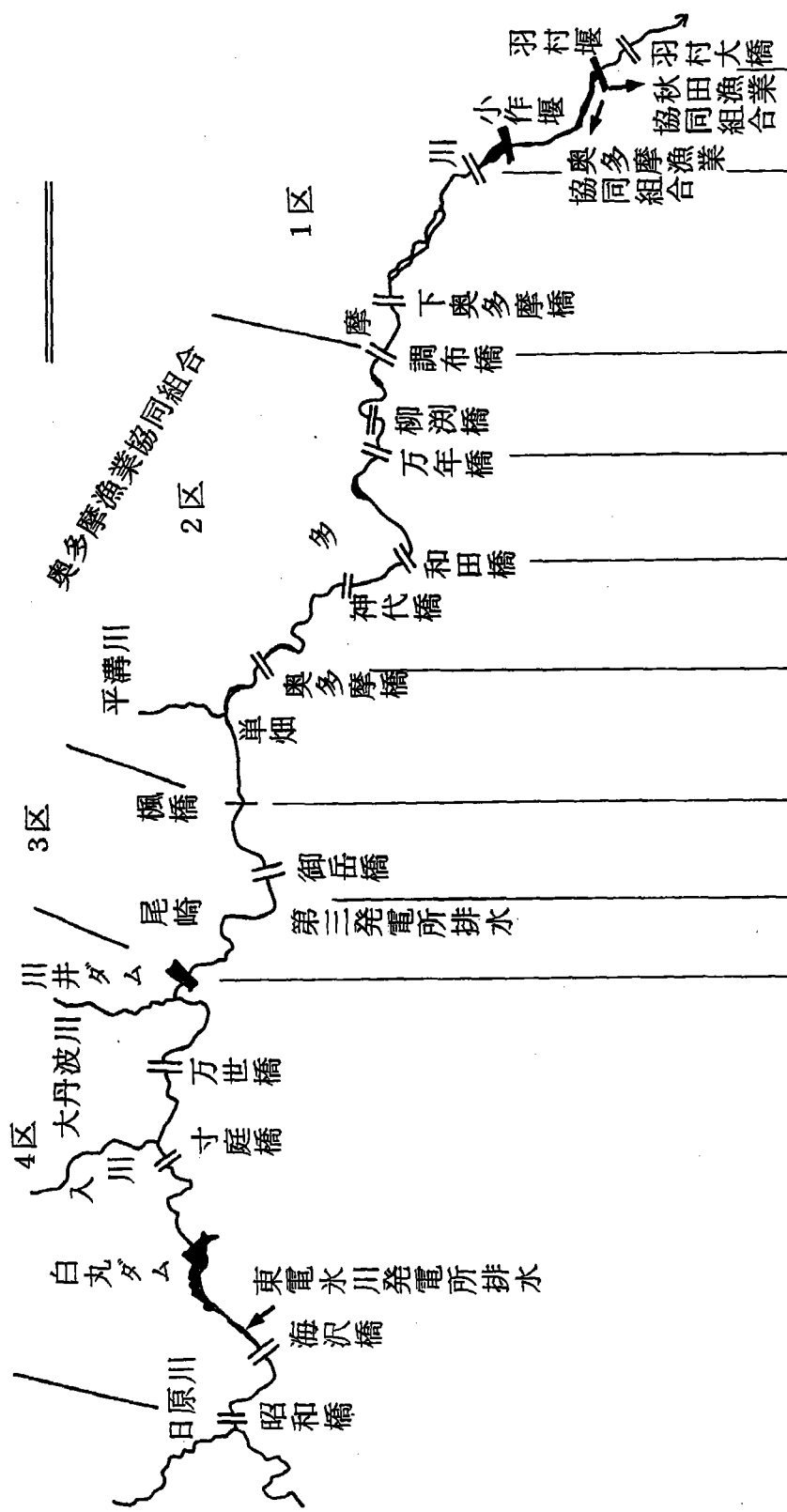
| 区間距離 km | 1.8 | 5.2 | 0.8 | 1.9 | 2.6 | 3.5 | 2.1 | 2.4 | 3.4 | 2.3 | 26.0 | 合計 又は平均 | |
|---|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|-----------|------------|-----------|
| | | | | | | | | | | | | 220,750 | 1,014,950 |
| 区間面積 m ² | 10,000 | 31,250 | 12,700 | 53,000 | 99,000 | 114,250 | 97,750 | 113,250 | 263,000 | 220,750 | 1,014,950 | | |
| 魚獲 月別、 地先別 | 6月 | 52 | 95 | 129 | 197 | 92 | 562 | 416 | 597 | 1,196 | 1,450 | 4,786 | |
| | 7 | 77 | 155 | 208 | 651 | 623 | 1,322 | 826 | 1,751 | 1,703 | 1,775 | 9,011 | |
| | 8 | 102 | 109 | 189 | 300 | 386 | 445 | 560 | 1,015 | 944 | 1,206 | 5,256 | |
| | 9 | 0 | 0 | 6 | 25 | 0 | 20 | 94 | 127 | 708 | 247 | 1,227 | |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 270 | 367 | 667 | |
| | 計 | 231 | 359 | 532 | 1,173 | 1,101 | 2,349 | 1,926 | 3,490 | 4,821 | 5,045 | 21,027 | |
| 100 m ² 当り 魚獲尾数 月別、 地先別 | 6月 | 0.52 | 0.3 | 1.02 | 0.37 | 0.09 | 0.49 | 0.43 | 0.53 | 0.45 | 0.66 | 0.47 | |
| | 7 | 0.77 | 0.5 | 1.64 | 1.23 | 0.63 | 1.16 | 0.85 | 1.55 | 0.65 | 0.80 | 0.97 | |
| | 8 | 1.02 | 0.35 | 1.49 | 0.57 | 0.39 | 0.39 | 0.57 | 0.90 | 0.36 | 0.55 | 0.52 | |
| | 9 | 0 | 0 | 0.05 | 0.05 | 0 | 0.02 | 0.10 | 0.11 | 0.27 | 0.11 | 0.12 | |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.03 | 0 | 0.10 | 0.17 | 0.07 | |
| | 計 | 2.31 | 1.15 | 4.19 | 2.21 | 1.11 | 2.06 | 1.97 | 3.08 | 1.83 | 2.28 | 2.07 | |
| 放流 尾数 | 重量 kg | 50 | 50 | 180 | 2,800 | | | | | | | 3,080 | |
| | 換算尾数 | 12,500 | 12,500 | 45,000 | 700,000 | | | | | | | 770,000 | |
| | 成魚 | 1,400 | 1,400 | 2,800 | 39,400 | | | | | | | 45,000 | |
| | 計 | 13,900 | 13,900 | 47,800 | 739,400 | | | | | | | 815,000 | |

図 4.1.2 多摩川上流域での鮎の魚獲と放流 (昭和58年)



| 区間距離 km | 1.8 | 5.2 | 0.8 | 1.9 | 2.6 | 3.5 | 2.1 | 2.4 | 3.4 | 2.3 | 合計 又は平均 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 区間面積 m ² | 10,000 | 31,250 | 12,700 | 53,000 | 99,000 | 114,250 | 97,750 | 113,250 | 263,000 | 220,750 | 1,014,950 |
| 魚獲 | 136 | 45 | 231 | 133 | 40 | 335 | 133 | 265 | 706 | 843 | 2,867 |
| 尾数 | 148 | 78 | 345 | 401 | 307 | 772 | 364 | 1,154 | 1,515 | 1,419 | 6,504 |
| 地先別 | 103 | 52 | 145 | 407 | 203 | 473 | 250 | 780 | 667 | 929 | 4,011 |
| 先別 | 1 | 0 | 2 | 13 | 45 | 36 | 50 | 71 | 345 | 271 | 834 |
| 数 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 240 | 653 | 895 |
| 計 | 390 | 175 | 723 | 954 | 595 | 1,616 | 797 | 2,271 | 3,475 | 4,115 | 15,111 |
| 100 m ² 当り 魚獲尾数 | 1.36 | 0.14 | 1.82 | 0.25 | 0.04 | 0.29 | 0.14 | 0.23 | 0.27 | 0.38 | 0.28 |
| 月別 | 1.48 | 0.25 | 2.72 | 0.75 | 0.31 | 0.68 | 0.37 | 1.02 | 0.58 | 0.64 | 0.64 |
| 地先別 | 1.03 | 0.17 | 1.14 | 0.77 | 0.21 | 0.41 | 0.26 | 0.69 | 0.25 | 0.42 | 0.40 |
| 先別 | 0.01 | 0 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.13 | 0.12 | 0.08 |
| 数 | 0.02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.09 | 0.30 | 0.09 |
| 計 | 3.90 | 0.56 | 5.70 | 1.80 | 0.60 | 1.41 | 0.82 | 2.01 | 1.32 | 1.86 | 1.49 |
| 放流 重量 Kg | 106 | 80 | 210 | | | | 2,480 | | | | 2,876 |
| 魚 換算尾数 | 26,500 | 20,000 | 52,500 | | | | 620,000 | | | | 719,000 |
| 尾数 | 1,000 | 1,300 | 3,200 | | | | 39,500 | | | | 45,000 |
| 数 | 27,500 | 21,300 | 55,700 | | | | 659,500 | | | | 764,000 |

図 4.1.3 多摩川上流域での鮎の魚獲と放流 (昭和59年)



| 区間距離 km | 0.8 | 1.9 | 2.6 | 3.5 | 2.1 | 2.4 | 3.4 | 2.3 | 19.0 |
|----------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|---------|
| 早瀬 m^2 | 8,034 | 11,954 | 6,758 | 31,676 | 10,506 | 34,042 | 42,459 | 21,995 | 167,424 |
| 平瀬 m^2 | 1,3369 | 51,285 | 9,2083 | 73,043 | 51,770 | 23,297 | 53,720 | 7,454 | 366,021 |
| 湖 m^2 | 4,018 | 31,168 | 23,780 | 17,690 | 6,769 | 11,329 | 12,343 | 2,441 | 109,538 |
| 計 m^2 | 25,421 | 94,407 | 122,621 | 122,409 | 69,045 | 68,668 | 108,522 | 31,890 | 642,983 |
| 釣人名 | 18 | 38 | 51 | 25 | 19 | 9 | 32 | 67 | 259 |
| 川遊び名 | 4 | 5 | 171 | 231 | 22 | 104 | 306 | 148 | 991 |
| 計名 | 22 | 43 | 222 | 256 | 41 | 113 | 338 | 215 | 1,250 |

図 4.1 4 河川形態と親水活動

表 4.8 昭和59年 月別・地区別延出漁人(回)数

| 地 区 | 出漁者数 | 全地区に対する出漁者比率 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10月 | 計 |
|---------|---------|--------------|---------|----------|----------|---------|--------|----------|
| 1 羽 村 町 | 人 32 | % 19 | 人 76 | 人 152 | 人 113 | 人 29 | 人 6 | 人 376 |
| 2 旧調布町 | 26 | 15 | 60 | 120 | 89 | 23 | 5 | 297 |
| 3 旧青梅市 | 59 | 34 | 136 | 270 | 202 | 50 | 10 | 668 |
| 4 旧吉野村 | 15 | 9 | 36 | 72 | 54 | 14 | 3 | 179 |
| 5 旧三田村 | 19 | 11 | 44 | 88 | 66 | 17 | 4 | 219 |
| 6 旧古里村 | 17 | 10 | 40 | 80 | 60 | 15 | 3 | 198 |
| 7 旧氷川町 | 4 | 2 | 8 | 16 | 12 | 3 | 1 | 40 |
| 計 | 172 | 100 | 400 | 798 | 596 | 151 | 32 | 1,977 |

表 4.9. 昭和59年アンケート結果

(a) 調査用ハガキの配付と回答数

| 地 区 | ハガキ配付数 | 回 答 数 (%) | 出 漁 者 数 (%) | 備 考 |
|-----|--------|---------------|---------------|---------|
| 1 | 68 (枚) | 38 (枚) (55.9) | 32 (名) (84.2) | 羽 村 町 |
| 2 | 70 | 27 (38.6) | 26 (96.2) | 旧 調 布 町 |
| 3 | 164 | 67 (40.9) | 59 (88.1) | 旧 青 梅 市 |
| 4 | 40 | 16 (40.0) | 15 (93.8) | 旧 吉 野 村 |
| 5 | 48 | 22 (45.8) | 19 (86.4) | 旧 三 田 村 |
| 6 | 34 | 21 (61.8) | 17 (81.0) | 旧 古 里 村 |
| 7 | 11 | 4 (36.4) | 4 (100.0) | 旧 氷 川 町 |
| 合 計 | 435 | 195 (44.8) | 172 (88.2) | |

(b) 月別総出漁回数

| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 合計(平均) |
|-----------------|------|------|------|------|-----|--------|
| 日 数 (日) | 17 | 31 | 31 | 30 | 31 | 140 |
| 延 出 漁 人 数 (人) | 400 | 798 | 596 | 151 | 32 | 1,977 |
| 出 漁 人 数 (人) | 172 | 172 | 172 | 172 | 172 | 172 |
| 1 人 出 漁 回 数 (回) | 2.3 | 4.6 | 3.5 | 0.9 | 0.2 | 11.5 |
| 1 日 出 漁 人 数 (人) | 28.6 | 25.7 | 17.2 | 12.6 | 1.0 | 14.1 |

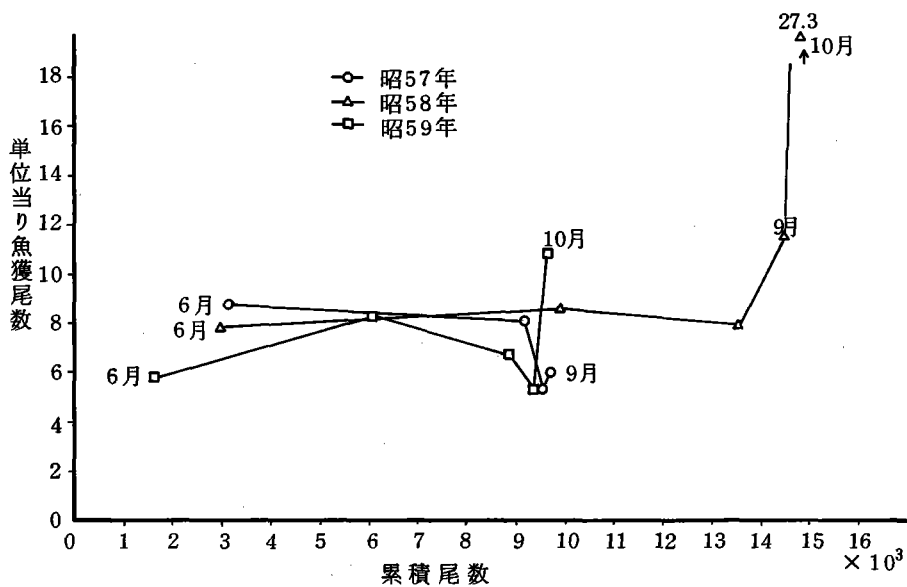


図 4.15 単位努力当りの魚獲尾数と累積尾数との関係
〔調布～三田地区（多摩川橋～第三発電所排水）〕

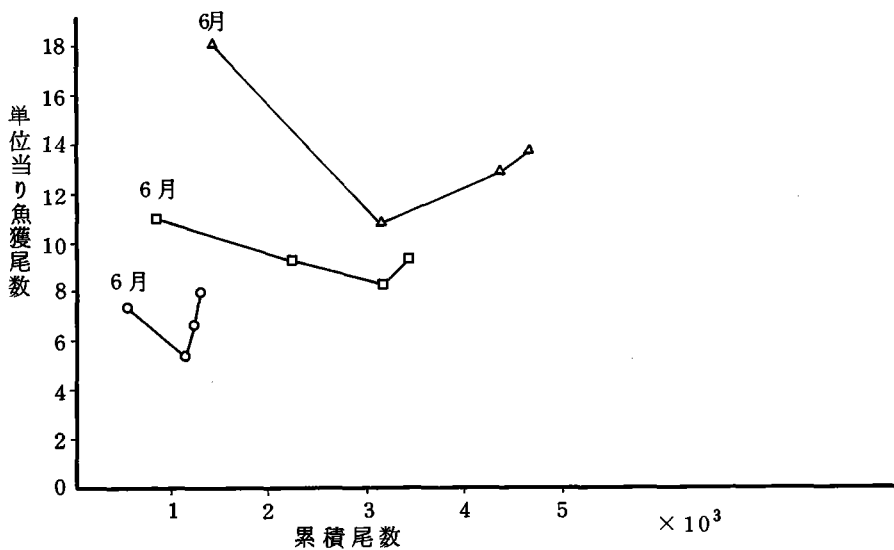


図 4.16 単位努力当りの魚獲尾数と累積尾数との関係
〔羽村地区（羽村堰～多摩川橋）〕

れているので、それに合わせて釣果の資料を整理したものである。調布～三田地区においては6月の解禁日から8月にかけて単位努力当りの魚獲尾数は減少せずにほぼ一定値を示し、9月、10月には予想に反して上昇している。羽村地区においては当初は通例と同じく減少傾向を示すが、ここでも釣シーズンの後半には単位努力当りの魚獲尾数が上昇している。調布～三田地区は区間長が16.7 kmあり、特性の異なる地区が含まれているので、種々の優乱が作用しているものと考えられる。また釣シーズンの後半にはアユの棲息数は減少しているにも拘らず、単位努力当りの魚獲が上昇しているのは、後半に出漁するのは熟練した組合員、釣師が多いことにも原因があると思われる。

表 4.1 0 単位当り漁獲尾数と累積漁獲尾数

(a) 調布～三田(多摩川橋～第三発電所排水)

| 年 | 月 | 延出漁人数 | 魚獲尾数 | 単位当り 漁獲尾数 | 累積 漁獲尾数 | 1日当り 延出漁人数 |
|----|----|-------|-------|--------------|------------|---------------|
| 57 | 6 | 367 | 3,245 | 8.8 | 3,245 | 33.4 |
| | 7 | 740 | 5,958 | 8.1 | 9,203 | 23.9 |
| | 8 | 72 | 378 | 5.3 | 9,581 | 2.3 |
| | 9 | 30 | 181 | 6.0 | 9,762 | 1.0 |
| | 10 | 0 | 0 | 0 | | |
| 58 | 6 | 388 | 3,060 | 7.9 | 3,060 | 32.3 |
| | 7 | 796 | 6,876 | 8.6 | 9,936 | 25.7 |
| | 8 | 459 | 3,650 | 8.0 | 13,586 | 14.8 |
| | 9 | 85 | 974 | 11.5 | 14,560 | 2.8 |
| | 10 | 11 | 300 | 27.3 | 14,860 | 0.4 |
| 59 | 6 | 276 | 1,612 | 5.8 | 1,612 | 19.7 |
| | 7 | 550 | 4,513 | 8.2 | 6,125 | 17.7 |
| | 8 | 411 | 2,780 | 6.8 | 8,905 | 13.3 |
| | 9 | 104 | 560 | 5.4 | 9,465 | 3.5 |
| | 10 | 22 | 240 | 10.9 | 9,705 | 0.7 |

| 解 禁 日 | 出 漁 可 能 日 数 | | | | |
|----------|-------------|-----|-----|-----|-----|
| | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
| 57年6月20日 | 11日 | 31日 | 31日 | 30日 | 31日 |
| 58年6月19日 | 12日 | 31日 | 31日 | 30日 | 31日 |
| 59年6月17日 | 14日 | 31日 | 31日 | 30日 | 31日 |

(b) 羽 村 (羽村堰～多摩川橋)

| 年 | 月 | 延出漁人数 | 漁獲尾数 | 単位当り 漁獲尾数 | 累積 漁獲尾数 | 1日当り 延出漁人数 |
|----|----|-------|-------|--------------|------------|---------------|
| 57 | 6 | 73 | 537 | 7.4 | 537 | 6.6 |
| | 7 | 148 | 632 | 4.3 | 1,169 | 4.8 |
| | 8 | 15 | 101 | 6.7 | 1,270 | 0.5 |
| | 9 | 6 | 48 | 8.0 | 1,318 | 0.2 |
| | 10 | 0 | 0 | | | |
| 58 | 6 | 80 | 1,450 | 18.1 | 1,450 | 6.7 |
| | 7 | 164 | 1,775 | 10.8 | 3,225 | 5.3 |
| | 8 | 94 | 1,206 | 12.8 | 4,431 | 3.0 |
| | 9 | 18 | 247 | 13.7 | 4,678 | 0.6 |
| | 10 | 2 | 367 | 183.5 | 5,045 | 0.1 |
| 59 | 6 | 76 | 843 | 11.1 | 843 | 5.4 |
| | 7 | 152 | 1,419 | 9.3 | 2,262 | 4.9 |
| | 8 | 113 | 929 | 8.2 | 3,191 | 3.6 |
| | 9 | 29 | 271 | 9.3 | 3,462 | 1. |
| | 10 | 6 | 653 | 108.8 | 4,115 | 0.2 |

図 4.17 は解禁後の時間経緯とともに、1日当りの出漁人数がどのように減少してゆくかを示している。月毎の変化は片対数紙上でほぼ直線変化を示しているの、対数的な減衰を表わしていることになる。表 4.11 は放流尾数が判明している区間毎に、放流尾数と漁獲尾数との比を算出したものである。これを見ると大勢としては放流尾数の2～3%が漁獲されていると言えよう。また、この数値は区間によりそれ程大きく変動していない。

ここでは昭和57年から59年に至る3カ年の資料の再整理を行った。さらに長期の動向としては次のような点が指摘されている。漁獲尾数の年変動はかなり大きなものではあるが昭和40年代までは年間2万尾を超える漁獲が見られた年がかなりあった。こうした意味では最近の漁獲尾数は低下していると言えよう。しかしながらこれは自然環境要因の悪化の故ではなく、漁獲の主体をなす釣人が漁協組合員から遊漁者に替った点も指摘されている。*

* 漁業公害調査報告書(多摩川におけるダム等の河川工作物設置による漁業に及ぼす影響調査, 昭和56年～60年度), 水産庁(受託者東京都), 1986

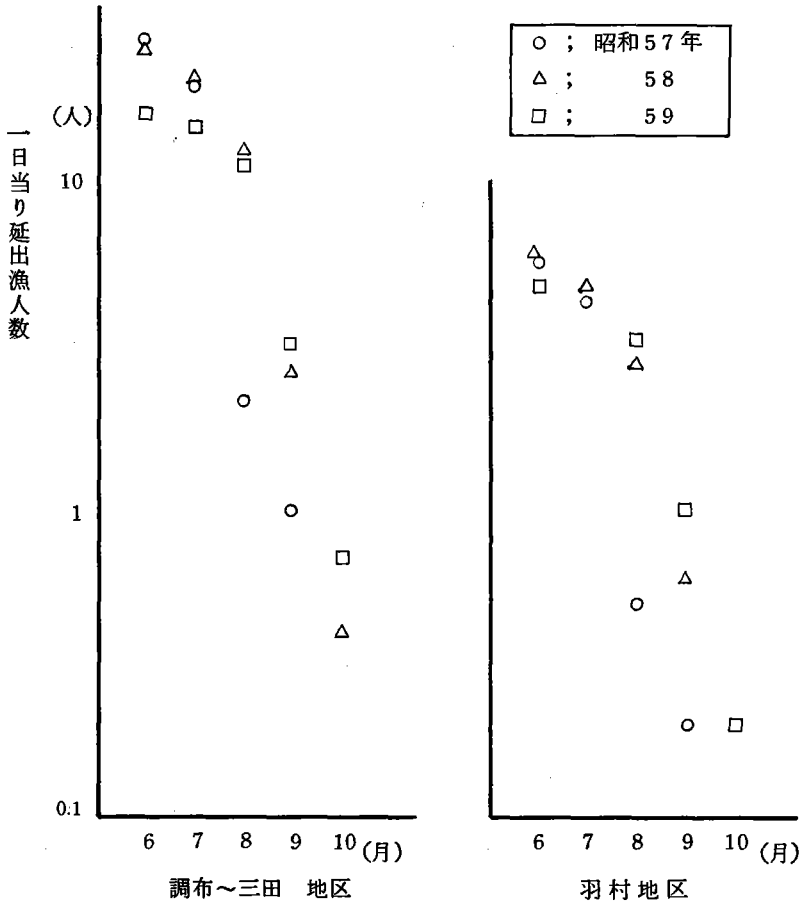


図 4.1 7 解禁後の1日当り延出漁人数の変化

表 4.1 1 地先別放流尾数に対する漁獲比率

| 年 | 地区 | 羽村堰～ 第三発電所排水 | 第三発電所排水 ～川井ダム | 川井ダム～ 白丸ダム | 白丸ダム～ |
|----|------|-----------------|------------------|---------------|--------|
| 57 | 放流尾数 | 519,500 | 24,000 | 7,250 | 4,250 |
| | 漁獲尾数 | 11,070 | 669 | 76 | 315 |
| | 比率 | 0.021 | 0.028 | 0.010 | 0.074 |
| 58 | 放流尾数 | 739,400 | 47,800 | 13,900 | 13,900 |
| | 漁獲尾数 | 19,905 | 532 | 359 | 231 |
| | 比率 | 0.027 | 0.011 | 0.026 | 0.014 |
| 59 | 放流尾数 | 659,500 | 55,700 | 21,300 | 27,500 |
| | 漁獲尾数 | 13,823 | 723 | 175 | 390 |
| | 比率 | 0.021 | 0.013 | 0.008 | 0.014 |
| 平均 | | 0.023 | 0.017 | 0.015 | 0.035 |

5. まとめ

本研究においては実験室における解析と現地調査ならびに従来の調査結果に基づいて、護岸が流れによよぼす影響、特に河床の横断形状が形成される機構と多摩川の河川形態ならびにアユ漁場としての特性を把握しようと努めてきた。今回の研究で得られた成果および今後予想される効果についてとりまとめると以下の通りである。

- (1) 水路片側に直立円柱群を配置した単純化された流れ場で、側岸の状態がどのように流れ場を支配するかの解析を行った。杭の付加抵抗は、杭が単独で存在するとき、若しくは杭が全域に存在するとき比に数%増大することが分かった。この割増し率は、流速の大規模な変動および杭の千鳥配置に伴う流れの集中・発散率から推定できることが分かった。
- (2) 固定床水路における水深平均流速の横断方向の分布は、杭の付加抵抗を考慮した理論により精度よく予測できることが確かめられた。
- (3) 水路片側に直立円柱群を有する水路で、横断方向の安定河床形状を求める理論的なモデルを提案した。流速分布は固定床の場合と同様な手法で予測できることが分かった。
- (4) 得られた流速分布と水深から定められる底面せん断応力を用い、横断方向の浮遊砂と掃流砂の釣合いを考える。これから得られた横断方向の安定河床形状は、実験値をよく説明できることが確かめられた。
- (5) 放流された鮎がどのように移動してゆくかを記述する拡散方程式を導入し、鮎のなわばり形式、遊

泳特性などに関する従来の観測結果を総合して、未知係数の妥当な関数形あるいは数値を決定した。流れの外部条件が変化しても鮎が成し得る仕事量は変化しないという前提から求めた移流速度は、4例の放流試験の結果と良好に一致した。

- (6) 上記のように定められた鮎の一回毎の行動特性から、流れの速度との差を考えることにより、放流鮎の分散係数を求めることができる。理論的に算定される分散係数は放流試験の結果と良く一致した。
- (7) 理論的に得られた分散係数を用いて鮎の放流時の密度分布の予測を行った。予測値は放流後7日目までの観測値とほぼ一致し、今回開発された理論が、集団としての鮎の分布をよく表現できることが分かった。
- (8) 羽村堰より上流の多摩川約19 kmの区間における河川形態の調査を行い、連続的な分布図を得た。早瀬、平瀬、淵のそれぞれの面積比は36%、49%、15%であった。
- (9) 早瀬、平瀬、淵の平均水深はそれぞれ0.8 m、0.8 m、1.5 mであり、代表流速は1.8 m/s、1.4 m/s、1.0 m/sであった。
- (10) 河川形態と単位面積当りの漁獲尾数の間には明確な関係は見られなかった。しかし、早瀬の割合が極端に小さな区間では漁獲尾数も目立って小さくなった。
- (11) 多摩川上流域での単位漁獲努力当りの漁獲尾数は、累積漁獲尾数が増大しても殆んど一定の値を示した。また、1日当りの延出漁人数は解禁直後に最大であり、以後指数的に減少している。
- (12) 放流尾数に対する漁獲尾数の比は、いくつかの区間で2~3%というほぼ一定の値を示し、河川形態には依らないように考えられる。
- (13) 水路片側の護岸の粗さの変化が、流速分布および河床の横断形状にどのような影響を与えるかを算定できる基礎的な資料が得られた。実際の河川工事における側岸および側岸部の工作物の粗さを予測すれば、淵あるいは瀬における水深および流速を予知できることになる。また、産卵場および生育場の造成のために、沈床あるいは大型異形ブロックを投入した場合の河床変化を予測できることになる。さらに、放流された稚魚の移動と分散が予測できれば、与えられた河川流量と河川形態の下での、最適放流計画を樹てることに応用できると考えられる。