

はじめに

財団法人河川環境管理財団に河川環境総合研究所を開設してから早4年の年月が経過いたしました。研究所設立以前の当財団の調査研究業務は、河川環境管理基本計画のうちの空間管理計画の策定が主たるものでしたが、この4年間でその内容は非常に多様化してまいりました。研究所で取り組んできている調査研究業務の主なテーマをまとめてみますと以下ようになります。

- 1) 河川環境管理基本計画のうちの水環境管理計画の策定。
- 2) 1)と密接不可分な関係にある河川の水質浄化に関する調査研究。このテーマに関しては、学識経験者からなる「河川水浄化検討委員会（委員長：中西 弘 大阪工業大学工学部教授）」を常設し、浄化技術の評価等に関し委員会からの助言・指導をうけつつ調査研究を進めています。
- 3) 多自然型河川工法に関し、洪水に対する安全性等、河川工学上からの評価を行う調査研究。このテーマは水理模型実験を主体として進めております。
- 4) 河川施設の管理に関する調査研究。このテーマは、1つは堤防の除草方法と雑草の侵入、昆虫の生息環境への影響等を調べるもので、もう1つは堤防等河川管理施設の点検方法に関するものです。
- 5) 河川水面利用に関する調査研究。
- 6) 地域との連携・協調に関する調査研究。

昨年、このような調査研究の成果を広く関係の方々に活用していただくため、「河川環境総合研究所報告第1号」を発刊いたしました。このたび、引き続き第2号を発刊する運びとなりました。これもひとえに建設省をはじめとする関係各位のご指導、ご支援の賜物であり、ここに厚くお礼申し上げる次第です。

本報告は、現場での活用を念頭においてそれぞれまとめているつもりです。現地における河川環境への取り組みにいささかなりとも資することができればと念願している次第です。一読いただき、当研究所と皆様との間で意見の交換ができるような機会が得られれば大変意義深いことであると考えております。感想、意見、質問なんでも結構ですからご一報いただければ幸いに存じます。

現在、河川に求められている機能は、より高度でより総合的なものとなってきております。こうした社会的な要請に応えていくためには、その基礎となる技術を着実に高めていかなければなりません。当財団としても、そうした視点にたって、研究顧問である吉川、芦田、佐々木先生を中心に一層の努力をしてまいり所存でありますので、今後とも、引き続き関係各位の特段のご指導、ご支援をお願い申し上げる次第です。

平成8年7月

財団法人 河川環境管理財団
理事長代行 斎藤 正勝

本研究所報告の編集に際しましては、その適正を期するため、下記の編集顧問から成る編集会議において掲載論文を決定しております。

編集顧問	吉川 秀夫	工学博士 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長 (河川工学)
	芦田 和男	工学博士 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 大阪研究所長 (河川工学)
	玉井 信行	工学博士 東京大学教授 工学部 土木工学科 (河川工学)
	佐々木 寧	理学博士 埼玉大学教授 工学部 建設工学科 (植物学)
事務局	斉藤雄三郎	(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長

目 次

標本による確率解析の誤差と計画高水流量に関する研究	近藤 徹	1
I 水環境に関する研究		
1. 移動平均雨量による渇水のとらえ方	吉川秀夫・高橋 晃・柳澤幸二	7
2. 河川水質と流域人口（第2報）	門松 武・斉藤雄三郎・桑原紀博	23
3. 感潮河川の水質特性(1) —水環境管理を目指して—	布村明彦・吉川秀夫・柴田正和	29
4. 利根川本川における水質負荷量の現状	武田 宏・木下隆史・中村恭子	63
5. バイオオブロングを用いた新しい河川水浄化手法について	布村明彦・宮武修司・南 彰則	69
6. 礫間接触酸化手法による河川水質浄化の現状	福井経一・斉藤雄三郎・武田 宏・木村 徹・木下 猛	73
II 多自然型川づくりに関する研究		
1. 多自然型護岸の実験的研究	芦田和男・大槻英樹・大本雄二	87
2. 複断面湾曲部の流速分布と河床変動数値シミュレーション	芦田和男・大槻英樹・劉 炳 義・大本雄二・藤田 暁	107
3. 湾曲部河道における流況変化	吉川秀夫・高橋 晃	129
III その他河川環境の保全と創造に関する研究		
1. 河川水辺の国勢調査（植物調査編）の活用 —多摩川を例として—	佐々木 寧	133
2. 河川環境の現状認識に関するアンケート調査	武田 宏・藤原 猛・中村元紀	149
3. 川遊びについてのアンケート分析と川遊びの方向性	河瀬芳邦・芝寄 茂・辻本紀之・森脇栄一・安宅貴生・早瀬純一	155
4. 飛鳥川を例とした歴史景観を生かした川づくり	芦田和男・吉田延男・金剛一智・安宅貴生・荒川英誠	173
5. 堤防の緩傾斜化に伴う法面せん断力分布の変化に関する研究	吉川秀夫・関根正人	189
6. 甲突川の水害特性と河川整備	芦田和男・奥田 朗・牟田神宗征・大槻英樹・中西 章	197
7. より良い河川環境を形成していくための地域との連携・協調について	斎藤正勝	217

標本による確率解析の誤差と計画高水流量に関する研究

近藤 徹*

一般的に、観測者、研究者は、取り扱っている観測値、資料が多くの場合、ある母集団から偶々抽出された標本値ではあるが、他方でその標本値から成り立つ結論は、実際に観測された資料、それに代表されるその同類、より大きな集団内において成立することを期待している。降雨資料においても、観測資料である標本の平均値、分散が降雨現象である母集団においても同一の値になることを期待している。

「洪水防御計画」の規模を表す指標としては、年超過確率で表現することになっているが、その値として標本の値をそのまま使用するのが通例である。

しかし自然現象として極めて不確定性が強く、絶えず大きく変動している降雨、洪水流量が、既往降雨、既往洪水によって得られた標本の示す平均、分散等と等しい確率モデルに、完全に適合した形で再現することはあり得ないことも、また明白な事実である。

母集団がある確率分布をしていれば、それから抽出される標本分布の特性値である平均、分散等の統計量もまた、一定の確率分布に従っている。そして母集団の生起確率、平均、分散等の特性値が未知の場合に、その母集団から得られた標本より算定される統計量によって、その背後で変動する母集団の特性値を推測する解析作業は、推測統計学の分野になる。

よく知られるように、確率変数 x で表される正規確率分布 $N(m, \sigma^2)$ をしている集団から抽出された大きさ n の標本値 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ について、その標本平均値という統計量 $x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ もまた確率変数であり、その確率分布関数は、正規確率 $N(m, \sigma^2/n)$ 分布で表される。

また標本分散という統計量 $s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2$ は、これを規準化した統計量 $\chi^2 = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2$ が、自由度 $f = n-1$ の χ^2 分布で表される。

なお標本平均値 x_0 を規準化した項 $\frac{(x_0 - m)}{\sigma/\sqrt{n}}$ は、正規分布、標本分散を規準化した項 $\chi^2 = \frac{n^2 s^2}{\sigma^2}$ は、自由

度 $f = n-1$ の χ^2 分布であって互いに独立であるから、 $t = \frac{(x_0 - m)/(\sigma/\sqrt{n})}{\sqrt{ns^2/\sigma^2(n-1)}} = \frac{\sqrt{n}(x_0 - m)}{\sqrt{ns^2/(n-1)}}$ は、自由度 $f = n-1$ の t 分布で表される。

自然現象で不確定性のある洪水、降雨等の現象は、ある確率分布をしているものとして扱う。その現象のうち、母集団の中で計画量を超過する現象を一定頻度以下に抑えることとして、その生起確率を計画規模の指標として示すこととしている。

降雨、洪水等の現象を母集団とし、その母集団が正規分布 $N(m, \sigma^2)$ で表される場合に、雨量、流量等の確率変数 X で表し、確率分布関数を $F_x(x)$ とした場合について考察する。計画規模の指標を超過確率 $1/W$ とした場合に、

$$p\{x \geq x_w\} = \frac{1}{W} = 1 - F_x(x_w)$$

ここで規準化された確率変数 $(x-m)/\sigma$ は正規分布 $N(0,1)$ に従うので、 $F_x = 1 - 1/W$ を満足する x_w を求めると、 $x_w = m + \sigma h_w$ を充たす h_w を求めることになる。

この場合母平均、母標準偏差が未知なので、統計量の標本平均、標本分散から推定することになる。

なお表-1に示すモデル流域の年平均2日連続雨量の標本例を取り上げて、数値計算による検証を行う。

降雨による確率解析であるので、Slade変換を行って正規分布を当てはめることにする。Slade変換による変換式は、雨量を R_i 、確率変数を x_i として、次の通り。

$$x_i = a \ln \left\{ \frac{R_i + b}{c} \right\} = 6.6974 \ln \left\{ \frac{R_i + 345.0328}{518.3502} \right\} \quad \dots(1)$$

(1) 母集団の平均値 m が未知の場合の超過確率の信頼区間の推定

母集団の分散 σ^2 が未知なので不偏分散推定量を σ_U^2 として

$$\sigma_U^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_0)^2}{(n-1)} = \frac{ns^2}{(n-1)} \quad \text{とすれば、}$$

$t = (x-m)/\sigma_U$ は、自由度 $f = n-1$ の t 分布をして

* 近藤 徹 水資源開発公団 総裁 (前 財河川環境管理財団 理事長)

表-1 モデル流域の年最大流域平均2日連続雨量

番号	降雨発生時	流域雨量	番号	降雨発生時	流域雨量	番号	降雨発生時	流域雨量	番号	降雨発生時	流域雨量
1	S 4.10.25~26	157.0	13	S 16.7.22~23	243.2	25	S 28.9.25~25	189.2	37	S 40.9.17~18	189.0
2	5.7.30~31	209.0	14	17.9.22~23	101.2	26	29.9.18~19	110.1	38	41.9.24~25	238.8
3	6.10.12~13	108.9	15	18.10.3~4	217.6	27	30.8.27~28	111.4	39	42.10.27~28	86.5
4	7.9.14~15	99.3	16	19.10.7~8	272.6	28	31.10.30~31	98.2	40	43.7.28~29	164.1
5	8.8.14~15	132.3	17	20.9.17~18	144.2	29	32.7.21~22	83.1	41	44.8.23~24	119.6
6	9.9.8~9	91.8	18	21.7.31~8.1	238.2	30	33.9.26~27	261.3	42	45.11.20~21	98.9
7	10.9.24~25	248.6	19	22.9.15~16	289.6	31	34.8.13~14	395.0	43	46.8.31~9.1	231.4
8	11.9.27~28	123.5	20	23.9.16~17	245.5	32	35.7.13~14	144.5	44	47.9.16~17	301.7
9	12.7.15~16	252.6	21	24.8.31~9.1	265.7	33	36.10.27~28	146.3	45	48.6.26~27	62.9
10	13.9.1~2	291.6	22	25.8.4~5	259.4	34	37.8.26~27	117.6	46	49.8.26~27	190.2
11	14.8.5~6	222.5	23	26.8.21~22	86.2	35	38.10.29~30	88.7			
12	15.8.26~27	144.3	24	27.6.23~24	72.1	36	39.7.8~9	108.9			

いる。

その密度関数 $f(t; n-1)$ は、未知の母数 m で表され、 σ^2 と独立している。

信頼係数を ε とおけば、

$$p\{A \leq t \leq B\} = \int_A^B f(t; n-1) dt = 1 - \varepsilon$$

となる A 及び B を求めることになる。

なお t 分布の密度関数は、偶関数であるから、

$$\int_{t_\varepsilon}^{+\infty} f(t; n-1) dt = \int_{-\infty}^{-t_\varepsilon} f(t; n-1) dt = \frac{\varepsilon}{2}$$

を充たす t_ε を求めれば、 $A = -t_\varepsilon$ 、 $B = t_\varepsilon$ が成り立つ。

従って

$$-t_\varepsilon \leq \sqrt{n}(x_0 - m) / \sigma_U \leq t_\varepsilon$$

$$\text{故に } x_0 - \frac{t_\varepsilon \sigma_U}{\sqrt{n}} \leq m \leq x_0 + \frac{t_\varepsilon \sigma_U}{\sqrt{n}}$$

$$\text{即ち } x_0 - \frac{t_\varepsilon s}{\sqrt{n-1}} \leq m \leq x_0 + \frac{t_\varepsilon s}{\sqrt{n-1}} \dots\dots\dots(2)$$

ここで表-1のモデル流域の降雨資料を式(1)に基づいてSlade変換を行って試算する。平均値 x_0 の信頼区間を雨量資料の次元で表現するために、

$$R_i = c \exp\left(\frac{x_i}{a}\right) - b$$

と確率変数 x_i を雨量資料の変数 R_i に変換する。

$$M_u = c \exp\left\{\frac{x_0 + t_\varepsilon s / \sqrt{n-1}}{a}\right\} - b$$

$$M_m = c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right) - b$$

$$M_l = c \exp\left\{\frac{x_0 - t_\varepsilon s / \sqrt{n-1}}{a}\right\} - b$$

とにおいて算定する。この計算結果を、表-2に示す。

ここで母平均に関する信頼区間の変動が超過確率に及ぼす感度を見るために、母平均のみが未知であると

して標本平均から推定することとして、母分散は最尤値、即ち不偏分散推定量を当てることにした場合について算定してみる。

式(2)に $x_w = m + h_w \sigma_U = m + \sqrt{n} h_w s / \sqrt{n-1}$ を代入すれば

$$x_0 + (h_w \sqrt{n} - t_\varepsilon) \frac{s}{\sqrt{n-1}} \leq x_w \leq x_0 + (h_w \sqrt{n} + t_\varepsilon) \frac{s}{\sqrt{n-1}} \dots\dots\dots(3)$$

表-2 降雨母集団の平均値の変動領域

ε	0.30	0.10	0.05	0.02
M_u 上限値	185.4	192.9	196.8	201.6
M_m 最尤値	173.3			>
M_l 下限値	161.5	154.5	150.8	146.5

従って

$$R_{wl} = c \exp\left(\frac{x_{wl}}{a}\right) - b = c \exp\left(\frac{x_0 + (h_w \sqrt{n} - t_\varepsilon) s / \sqrt{n-1}}{a}\right) - b$$

$$R_{wu} = c \exp\left(\frac{x_{wu}}{a}\right) - b = c \exp\left(\frac{x_0 + (h_w \sqrt{n} + t_\varepsilon) s / \sqrt{n-1}}{a}\right) - b$$

この計算結果を表-3に示す。

表-3 降雨母集団の超過確率値の信頼限界値 (母標準偏差=最尤値)

1/W 超過確率	信頼係数 ε	下限値				最尤値	上限値			
		0.02	0.05	0.10	0.30		0.30	0.10	0.05	0.02
1/30		301.3	307.0	311.8	321.0	336.6	352.5	362.3	367.5	373.8
1/50		322.9	328.8	333.8	343.3	359.4	375.8	385.9	391.3	397.8
1/70		336.6	342.6	347.7	357.4	373.8	390.6	400.9	406.4	413.0
1/100		350.7	356.8	362.0	371.9	388.7	405.8	416.3	421.9	428.7
1/200		377.0	383.3	388.7	399.0	416.3	434.1	445.0	450.8	457.9
1/500		410.6	417.3	422.9	433.6	451.8	470.4	481.8	487.9	495.3

(2) 母集団の分散 σ^2 が未知の場合の超過確率の信頼区間の推定

母集団の平均値 m が未知である。統計量 $\chi^2 = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2$ は、自由度 $f = n-1$ の χ^2 分布で表されることから、その密度関数 $f(\chi^2; n-1)$ は、未知母数 σ^2 の関数であって、 m と独立している。信頼係数を ε とおけば、

$$P\{A \leq t \leq B\} = \int_A^B f(\chi^2; n-1) d(\chi^2) = 1 - \varepsilon \quad \text{となる } A \text{ 及び } B \text{ を求めるために}$$

$$\int_b^{+\infty} f(\chi^2; n-1) dt = \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{及び}$$

$$\int_a^{+\infty} f(\chi^2; n-1) dt = 1 - \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{を解く.}$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_0)^2}{\sigma^2} = \frac{ns^2}{\sigma^2} \quad \text{を用いると}$$

$$\frac{ns^2}{A} \leq \sigma^2 \leq \frac{ns^2}{B} \quad \text{である. 従って}$$

$$\sqrt{\frac{ns^2}{A}} \leq \sigma \leq \sqrt{\frac{ns^2}{B}} \dots\dots\dots(4)$$

ここで表-1の降雨資料を Slade 変換した資料に基づいて試算する。

σ の変動幅を雨量資料の次元で表現するために、

$$\left\{ c \exp\left(\frac{x+\sigma}{a}\right) - b \right\} - \left\{ c \exp\left(\frac{x}{a}\right) - b \right\}$$

$$= c \exp\left(\frac{x+\sigma}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x}{a}\right) = +\sigma$$

$$\left\{ c \exp\left(\frac{x}{a}\right) - b \right\} - \left\{ c \exp\left(\frac{x-\sigma}{a}\right) - b \right\}$$

$$= c \exp\left(\frac{x}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x-\sigma}{a}\right) = -\sigma$$

と定義して算出し、標準偏差の変動量を表現する。ここで

$$+\sigma_{us} = c \exp\left(\frac{x_0 + \sqrt{ns^2/B}}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right)$$

$$+\sigma_{ls} = c \exp\left(\frac{x_0 + \sqrt{ns^2/A}}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right)$$

$$-\sigma_{us} = c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x_0 - \sqrt{ns^2/A}}{a}\right)$$

$$-\sigma_{ls} = c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right) - c \exp\left(\frac{x_0 - \sqrt{ns^2/B}}{a}\right)$$

$$M_m = c \exp\left(\frac{x_0}{a}\right)$$

この計算結果については、表-4に示す。

ここで母標準偏差に関する信頼区間の変動が超過確率に及ぼす感度を見るために、母標準偏差のみが未知であるとして標本分散から推定することとして、母平均は最尤値、即ち標本平均を当てることにした場合について算定してみる。

表-4 降雨母集団の標準偏差値の信頼区間に関する試算値

c	0.30	0.10	0.05	0.10
M_m 標本平均値	173.3			>
$+\sigma_{us}$ 変動領域上側の上限値	95.2	103.4	108.2	114.0
$+\sigma_{ls}$ 変動領域上側の下限値	75.1	70.7	68.6	66.5
$-\sigma_{us}$ 変動領域下側の上限値	80.5	86.2	89.5	93.4
$-\sigma_{ls}$ 変動領域下側の下限値	65.6	62.2	60.6	58.9

$$x_w = m + h_w \sigma = x_0 + h_w \sigma \text{ を, (4) に代入すれば}$$

$$x_0 + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{a}} \leq x_w \leq x_0 + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{b}}$$

従って

$$Y_{wl} = \exp x_{wl} = \exp\left(x_0 + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{a}}\right)$$

$$Y_{wu} = \exp x_{wu} = \exp\left(x_0 + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{b}}\right)$$

この計算結果を表-5に示す。

表-5 降雨母集団の超過確率値の信頼限界値 (母平均=最尤値)

1/W 超過確率	信頼係数 ε	下限値				最尤値	上限値			
		0.02	0.05	0.10	0.30		0.30	0.10	0.05	0.02
1/30		301.7	306.1	310.3	319.3	336.6	361.2	378.5	388.8	401.2
1/50		319.1	324.1	329.0	339.4	359.4	387.9	408.1	420.0	434.6
1/70		330.1	335.5	340.8	352.1	373.8	404.9	426.9	440.0	455.9
1/100		341.3	347.2	352.9	365.1	388.7	422.5	446.4	460.6	478.1
1/200		362.2	368.9	375.4	389.3	416.3	455.2	482.9	499.4	519.6
1/500		388.7	396.5	404.1	420.3	451.8	497.5	530.1	549.6	573.7

(3) 母集団の平均値と標準偏差が未知の場合の超過確率の信頼限界の推定

この場合に母集団の m , σ^2 が未知であるので, その結果 x_w の信頼区間は, どの範囲に存在すると推定されるのかという命題になる.

$t = \sqrt{n}(x_0 - m)/\sigma_U$ は, m だけの関数であって, 自由度 $f = n-1$ の t 分布で, その密度関数は, $f_t(t; n-1)$
 $\chi^2 = ns^2/\sigma^2$ は, σ だけの関数であって, 自由度 $f = n-1$ の χ^2 分布で, その密度関数は, $f_{\chi^2}(\chi^2; n-1)$
 ここで

$$\chi^2 = \frac{ns^2}{\sigma^2} = z, \therefore \sigma = \sqrt{\frac{ns^2}{z}}$$

$$x_w = m + oh_w \quad \therefore m = x_w - h_w \sqrt{\frac{ns^2}{z}} \quad \text{より}$$

$$T = \frac{\sqrt{n}(x_0 - m)}{\sigma_{TT}} = \frac{\sqrt{n}}{\sigma_{TT}} \left(x_0 - x_w + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{z}} \right)$$

とおく.

従って任意の m , σ^2 が存在する尤度の密度は, $f_t(t; n-1) \cdot f_{\chi^2}(\chi^2; n-1)$ であるから $x_w = m + oh_w$ の確率分布関数は

$$\begin{aligned} F_w(x_w) &= P\{x \leq x_w\} \\ &= \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^T f_{\chi^2}(z; n-1) f_t(t; n-1) dt dz \\ &= \int_0^{+\infty} f_{\chi^2}\{z; n-1\} F_t(T; n-1) dz \\ &= \int_0^{+\infty} f_{\chi^2}\{z; n-1\} \\ &\quad F_t\left\{\frac{\sqrt{n}}{\sigma_U} \left(x_0 - x_w + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{z}} \right); n-1\right\} dz \\ &\dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

信頼区間は, 有意水準を ε とおけば,

$P\{x_{wL} \leq x_w \leq x_{wU}\} = 1 - \varepsilon$ を充たす x_{wL} , x_{wU} を求めることになり,

$$F_x(x_{wL}) = \frac{\varepsilon}{2}, F_x(x_{wU}) = 1 - \frac{\varepsilon}{2} \text{ を求めればよいことになる.}$$

しかし上記の積分は極めて困難である. 通常は, (1) 及び(2)の手法から推定することになる.

(4) 数値解析による推定

近年のコンピューターの発達により, 従前解析が困難であった数式を数値解析により解く方法が採用されるようになったので, ここでは数値解析により算定する.

計画規模の指標 W , 有意水準を ε とおいて, 式(5)及び

$$F_x(x_{wL}) = \frac{\varepsilon}{2}, F_x(x_{wU}) = 1 - \frac{\varepsilon}{2} \text{ を充たす } x_{wL}, x_{wU}$$

を, 数値解析により求める.

ここで実数に変換して $R = c \exp\left(\frac{x}{a}\right) - b$ として計算する.

数値解析の積分公式は, 8分の3公式を使用した. 8分の3公式は,

$$\begin{aligned} \int_{z_L}^{z_U} f(z) dz &= \sum_{i=0}^N \frac{\Delta d}{8} \{ f[z_L + 3i\Delta d] \\ &\quad + 3f[z_L + (3i+1)\Delta d] \\ &\quad + 3f[z_L + (3i+2)\Delta d] \\ &\quad + f[z_L + 3(i+1)\Delta d] \} \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } \Delta d = \frac{(z_U - z_L)}{3(N+1)}$$

ここで

$$f(z) = f_{\chi^2}(z; n-1) F_t\left(\frac{\sqrt{n}}{\sigma} \left(x_0 - X_w + h_w \sqrt{\frac{ns^2}{z}} \right)\right)$$

とおく.

表－6 降雨母集団の超過確率値の信頼限界値

1/W 超過確率	信頼係数 ϵ	下限値				最尤値	上限値			
		0.02	0.05	0.10	0.30		0.30	0.10	0.05	0.02
1/30		286.4	294.3	302.2	315.4	340.8	369.7	389.1	399.4	412.7
1/50		305.0	313.8	320.5	335.8	364.0	396.7	417.8	430.4	445.4
1/70		316.7	324.3	332.6	348.3	378.3	412.9	436.4	449.9	466.2
1/100		327.3	336.8	346.2	362.4	394.1	430.8	456.7	471.2	489.0
1/200		349.6	360.1	368.2	387.1	422.6	464.8	493.4	509.7	530.7
1/500		375.7	387.1	398.6	418.5	458.7	506.9	539.5	558.7	583.1

この資料から判断出来ることは、超過確率が1/100に相当する降雨の事象は、信頼計数が $\epsilon = 0.05$ では、上限信頼限界値は超過確率1/500より小さい超過確率の事象における最尤値に相当し、下限信頼限界値は1/30より大きいそれに相当する。

(5) まとめ

(1)方式による表－3、(2)方式による表－5、(4)方式による表－6の信頼区間を比較すると、(4)方式の最尤値が他の方式の最尤値と異なっているので、その差は(4)方式の数値計算による誤差と考えられる。その誤差が含まれていることを前提にしても、各方式の信頼区間の大きさは、(1)方式<(2)方式<(4)方式となっている。この計算例に関する限りにおいては、超過確率の信頼区間は、(1)方式、(2)方式の簡易計算方式で算定される信頼区間よりも大きくなるのが推定される。

以上に示すように、確率解析に伴って生ずる誤差に相当するものとして、標本より得られる結論と母集団との間に不確実性が必然的に内在していることに留意しなければならない。

水文資料と他の分野で確率解析の対象とする資料との根本的な相違点は、データの少なさである。その結果標本から得られる結論の信頼性が重要な課題となる。

この問題を雨量から流量に置き換えても、同様のことが云える。

何故なら、流量と雨量との間にはよく知られているように一次相関があること、さらに時間分布、地域分布の資料である洪水資料の数は一般的に流域平均雨量分布の資料よりも少ない場合が多いこと等により、資料の少なさによる誤差の変動幅、即ち信頼限界の幅は、更に大きくなるのが推定されるからである。

ここで1/30～1/100～1/500という超過確率の値は、治水技術上どのように評価され、位置づけられるべきであろうか。この位置づけについては、超過確率を計

画量とするか否かによって、2つの視点がある。そもそも超過確率が計画量であれば、十分な信頼水準を持つ超過確率が確保されなければならない。仮に超過確率の最尤値が1/100であっても、信頼限界の下限を考えると、通例の最尤値換算で1/30程度の確率事象を対象としていると評価するべきであるということになる。あるいは超過確率1/100の計画量としては、信頼限界の上限を考えると最尤値換算で1/500程度の確率事象に相当する計画量を設定しなければならないことになる。

他方で超過確率が計画量算定上の指標の1つであるとするれば、外挿による算定上の単なる参考値として扱って、信頼限界に関する厳密な解析は必要ないとすることができる。現況の洪水処理能力と計画洪水処理能力との外挿上の計数として扱えばよいということになる。

治水事業が社会全般に期待されその推進が期待されていた治水効果恩恵論の段階では、何れの視点であってもさして問題にならなかった。しかし計画に基づいて設置された治水施設が計画に示された機能を確実に発揮することが要請される治水機能確保論の段階では、後者の視点すなわち計画量はあくまで計画高水流量であって、超過確率ではないとするべきである。

確率洪水の思想は、従前の「洪水防御計画」が対象としていた既往最大洪水よりも規模の大きい洪水を対象としての計画高水流量を算定するための外挿手法として導入された。

有堤河川の破堤氾濫回避という視点から、計画規模を大きくすることが、破堤氾濫の発生確率を小さくすること、従前よりも計画の安全度が向上させていることを意味している。また超過確率は、同規模の河川における「洪水防御計画」の相対的評価として意味を持っている。

1. 水環境に関する研究

移動平均雨量による渇水のとらえ方

吉川 秀夫*・高橋 晃**・柳澤 幸二***

はじめに

現在において河川の自然環境の保全、改善が河川の諸機能の中でも特に重要視されている。この河川環境の中で中軸をなすものは河道と流水であることは異論のない所であろう。

河川水には洪水と普段の水と渇水とがある。我々が河川の流水と思っているものは上述の普段の水であり、これをより豊かに（水資源開発事業）且つよりきれいな水に行きたい（河川水浄化事業）と思っており、これに対しての種々の研究がされている。

これよりも多量の流水になった場合には我々は洪水と呼び、それに伴う被害の軽減（治水事業）および河道内生態等に及ぼす影響についても研究が進められている。

一方、普段の水よりも少ない流水については渇水（定義は必ずしも一定していない）については流量年表に渇水量として年々のデータが掲載されている以外、その性質について十分な知識を持っていない。

しかしながら、河川の流水が涸渇するか若しくは著しく減少した場合には我々人間にとっても重大な事態になることは勿論であるが、河川自然環境を構成する動・植物にとっても深刻な問題となる。しかしながら、我国の雨量が他国に比して多いため、充分検討がなされていないように思われる。即ち、異常渇水という名のもとに天災に帰されてしまったり、あるいは瀬切れ・水質悪化等の現象面のみに注目が集まり、このような現象を根本的に見てみるのが少なかったように思われる。

河川の流水の根源は降水であり、この性質を十分に把握しておくことが必要であると考えられ、著者の一人はこれを考える一つの方法として渇水持続曲線なる概念を提案した¹⁾が、これは主として水資源確保の意味合いを持ったものであり、本文では更に河川の環境面についてもその基礎を与えることを目的として若干

の検討を試みた。ここで行った検討は一流域について試みに行ったものであるが、この方法は河川管理者がそれぞれの河川についてどのような河川流水の期待を持って河川管理を行うかの基礎にはなり得るのではないかと考えている。

しかしながら、人間生活に必要な水の確保、河川内動・植物への影響等、生態系、人間にとって望ましい水の確保等の具体的施策に対しては更に広範囲の研究が進められる必要があることは勿論である。本文では、降水が流域に降って流出過程を経て河川水となり、次いで自然的にあるいは人為的に河川水が分配されるという認識のものに、第一段階として流域下流端にダムがあり流出量が確実に把握できる比較的単純な降雪の少ない小流域（流域面積322.8km²）を選び、河川水の分配を含まない範囲で検討を行った。

1. 雨量年表による降雨特性評価

現在、公表されている雨量年表は、日々の降水量を年表として整理した表に加え、降水量状況が整理されている。しかし、この資料からでは渇水等の評価は困難である。

表1・1 降水量状況の整理項目²⁾

当 年	既 往
年降水量	累年降水量
最多月降水量	平均降水量
最多日降水量	最多年降水量
最多3時間降水量	最小年降水量
最多1時間降水量	最多月降水量
———	最多日降水量
———	最多3時間降水量
———	最多1時間降水量

* 吉川 秀夫 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長

** 高橋 晃 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 主任研究員

*** 柳澤 幸二 (株)建設技術研究所 (前 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究員)

1つの例として、神流川（利根川支川）上流の降水量観測所として万場（建設省）²⁾の雨量を用い、月降水量による降雨特性について検討を行った。

昭和13年から平成5年までの56ヶ年についての月降水量を表1・2に整理した。

各月の56ヶ年平均値（平均月雨量）を下回る年は、どの年にも見られ特に偏っていないことから平均月雨量を下回る小雨の状況はいつでも発生することが考えられる。また平均月雨量を下回る月数の比率が60%～70%程度であり、平均月雨量を期待すると60%～70%外れることとなる。月雨量の標準偏差は10月～3月の6ヵ月間は4月～9月に比べ大きくなるが、年雨量としては種々のケースが重なり合い標準偏差と平均年雨量の比率は小さくなり、年量としては比較的経年的に安定したものとなる。

また、平均月雨量以下の月雨量月数の全月数に対する比率をみると、その比率は30%程度あり、この様な少ない月雨量が発生する年がある。平均月雨量以下の月雨量が長期に渡り継続している年が9年程発生している。これらの年では季節に応じた雨が少なく、河道内での降雨も少ない訳であるから、河道内の生態系に相当な影響を与えたことが考えられる。これらの年はいずれも異常気象の年といわれ、世界的にもエルニーニョの発生が見られたり、日本では暖冬・から梅雨等の傾向がある。気象との関係は今後の更なる研究が必要であろう。

一方、流量について見る方がより河道内流水を直接見るのに適しているが、一般に低水流量の観測精度はよくない。さらに流況表³⁾が載せられているが、これは流量の大きさの順序系列で評価され、それはそれとして意味のある表であるが、時系列的に評価することが出来ない。すなわち、いつ、どの程度の濁水が何日間位継続するのかが、生態系にとっては重要であるが、そのような期待を満足させるものではない。

2. 移動平均量

2.1 移動平均量の定義

移動平均量は下記の定義に従い算定を行うものとする。

$$r_i^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{k=i-m+1}^i r_k \quad \text{ただし } i > m-1 \dots\dots(2.1)$$

ここに、

$r_i^{(m)}$: i 日以後の m 日 1 日の平均降水量（又は流量）。 i は全観測年に対し、通し番号を付

けてある。

r_i : i 日目の降水量（又は流量）。

また、移動平均量として15日、30日、60日、90日、150日、200日、250日、360日を抽出し、年間を対象としたケースと1年を4期に分割した場合（1～3月、4～6月、7～9月、10～12月）のケース（移動日数は15日、60日、30日、90日）について計算を行った。

2.2 移動平均量の平均値

算定した移動平均量を用い、統計期間全年に対して平均値の算定を行ったところ、図2・1及び図2・2に示す様に各期別内での移動日数による平均値の差は見られず降雨強度は移動日数が長くなってもほとんど変化しない。期別では梅雨及び台風が発生する4月～6月、7月～9月の期間の値が大きくなっており、通年では移動日数が増加する程、値は大きくなる傾向にあるものの、移動日数が200日までである。これは日数が増加することにより、梅雨や台風時の多量の雨が常に含まれることによるものと考えられ、250日（約8ヶ月）では冬期の少ない雨が加わることにより、平均値が低下したものと考えられる。この傾向は万場の雨量、下久保ダムの流入量⁴⁾とも同様の傾向である。

また、移動平均量の平均値を用い、万場の雨量と下久保ダム流入量より算定した流出率（表2・1）は各期間内の資料を用いて算定した期間内の合計値の流出率とほぼ同程度の値を示しており、この値は月平均雨量と月平均流入量を用いて算定した流出率（図2・3）とほぼ一致している。

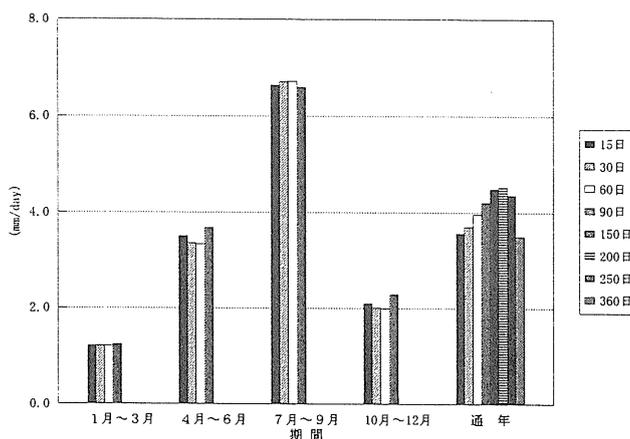


図2・1 万場降水量移動平均量全量による56年間の平均値

表1・2 万場月雨量

(単位: mm)

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
S13(1938)	12.1	28.6	34.2	72.7	64.9	293.3	311.4	626.6	102.5	288.0	9.2	39.1	1882.6
S14(1939)	26.8	15.8	26.8	183.7	90.3	146.4	298.5	555.9	106.1	164.9	26.4	0.9	1642.5
S15(1940)	0.4	25.4	13.6	47.9	38.8	215.0	113.0	401.3	146.6	56.8	28.2	6.0	1093.0
S16(1941)	19.7	12.3	56.2	33.6	144.5	157.2	587.0	119.6	138.9	64.7	54.5	35.8	1424.0
S17(1942)	2.2	40.6	31.6	72.4	107.9	117.3	140.0	186.4	104.8	61.9	31.2	6.1	902.4
S18(1943)	8.1	26.4	14.2	28.9	69.7	108.3	231.8	231.1	198.7	259.7	5.0	4.8	1186.7
S19(1944)	4.9	9.5	95.6	64.3	63.4	132.8	99.0	194.2	41.1	295.6	74.0	19.3	1093.7
S20(1945)	0.8	35.7	19.8	32.6	72.0	161.8	159.6	324.5	158.1	466.9	68.0	10.0	1509.8
S21(1946)	8.0	30.0	42.0	77.5	63.3	99.0	175.7	250.7	59.2	178.4	47.5	22.8	1054.1
S22(1947)	12.0	18.8	17.2	48.3	59.8	128.8	128.1	130.3	450.8	87.6	0.9	10.0	1092.6
S23(1948)	24.5	21.9	44.8	89.6	113.3	362.7	456.1	385.8	279.1	83.7	82.9	7.3	1951.7
S24(1949)	16.8	57.6	26.4	42.3	86.1	242.3	175.9	396.3	131.6	209.1	130.1	39.6	1554.1
S25(1950)	44.9	28.1	58.9	76.4	69.8	228.3	321.8	334.0	53.5	227.8	81.3	62.3	1587.1
S26(1951)	22.1	57.2	64.4	117.8	73.1	112.9	220.2	194.6	94.0	95.7	50.0	14.0	1116.0
S27(1952)	34.7	40.9	90.6	146.1	56.0	201.8	288.2	86.8	79.6	93.6	57.0	16.6	1191.9
S28(1953)	11.7	32.8	80.8	7.3	111.6	235.7	287.2	178.1	213.4	95.6	1.9	30.5	1286.6
S29(1954)	53.9	22.6	64.6	60.3	129.2	309.6	144.1	115.0	210.1	74.8	99.1	6.0	1289.3
S30(1955)	19.2	58.2	84.1	52.7	120.5	52.2	264.7	212.2	174.2	229.9	80.8	2.3	1351.0
S31(1956)	24.0	32.6	82.8	74.2	152.5	121.6	184.0	141.8	215.9	194.9	33.3	2.0	1259.6
S32(1957)	0.7	48.8	43.2	73.7	106.9	223.5	119.1	173.5	231.3	115.5	22.0	12.3	1170.5
S33(1958)	29.0	4.4	24.0	39.4	58.2	108.6	155.2	276.5	518.4	202.0	63.0	46.0	1524.7
S34(1959)	19.5	50.0	47.0	82.8	140.5	200.7	217.7	373.9	253.7	172.4	53.1	41.5	1652.8
S35(1960)	30.7	6.3	24.7	75.0	153.7	71.7	65.3	308.3	79.8	94.2	64.7	39.7	1014.1
S36(1961)	3.0	1.0	78.0	99.0	58.0	283.0	74.0	158.0	76.0	476.0	67.0	15.0	1388.0
S37(1962)	37.6	4.2	14.3	36.0	115.8	214.9	196.4	160.1	32.6	89.5	42.0	21.9	965.3
S38(1963)	2.8	1.9	46.8	60.8	103.1	167.8	257.8	132.3	35.0	126.1	34.9	7.5	976.8
S39(1964)	58.0	35.5	43.7	79.8	39.7	116.1	122.8	217.6	160.9	113.8	35.3	32.7	1055.9
S40(1965)	38.6	3.2	16.0	54.6	284.4	227.5	60.5	198.6	177.9	48.5	72.9	26.6	1209.3
S41(1966)	16.1	60.4	71.0	39.4	131.5	357.5	131.3	159.1	369.4	94.1	9.3	6.8	1445.9
S42(1967)	22.6	47.6	29.1	84.6	55.9	169.0	170.3	42.4	218.6	218.8	41.1	12.3	1112.3
S43(1968)	5.2	84.4	37.9	102.8	119.8	136.1	305.7	314.2	78.6	128.5	2.1	64.0	1379.3
S44(1969)	32.8	54.1	133.9	62.4	44.0	145.1	119.2	82.2	139.7	85.9	37.2	2.1	938.6
S45(1970)	29.3	17.9	13.0	79.7	91.1	173.7	131.6	116.3	93.6	78.3	60.5	10.1	895.1
S46(1971)	14.6	15.3	31.4	83.4	57.4	115.9	190.0	378.1	184.1	103.4	16.4	19.9	1209.9
S47(1972)	94.3	82.2	36.9	74.1	74.6	80.4	363.7	76.4	285.9	20.3	13.5	85.1	1287.4
S48(1973)	41.6	22.3	10.3	110.4	56.1	148.2	120.7	116.0	150.0	86.4	17.2	0.1	879.3
S49(1974)	35.1	47.3	88.1	87.6	43.9	196.9	292.2	274.4	245.7	88.1	8.2	15.9	1423.4
S50(1975)	17.7	35.1	50.4	73.1	80.3	192.9	164.3	104.2	135.9	130.7	98.2	22.7	1105.5
S51(1976)	0.0	92.4	27.6	72.2	122.3	160.4	92.4	118.5	201.0	74.9	24.5	33.9	1020.1
S52(1977)	7.3	26.8	71.9	95.8	55.9	167.4	150.5	300.4	261.0	39.2	49.8	5.1	1231.1
S53(1978)	17.0	11.1	51.9	116.6	53.0	119.4	228.1	45.0	179.4	140.7	27.0	38.2	1027.4
S54(1979)	36.6	70.6	6.6	94.8	133.7	105.1	267.7	146.0	110.6	204.8	109.9	6.4	1292.8
S55(1980)	79.4	27.2	97.7	71.8	75.2	95.6	225.2	109.7	94.0	123.4	75.6	43.9	1118.7
S56(1981)	2.2	27.0	46.9	73.1	102.4	99.1	259.0	329.3	147.8	106.2	62.0	0.8	1255.8
S57(1982)	0.3	35.7	22.5	81.4	59.9	173.9	180.3	383.5	424.6	129.0	73.3	2.7	1567.1
S58(1983)	30.2	58.3	47.7	84.7	38.0	129.7	145.6	393.2	332.5	52.4	27.8	3.7	1343.8
S59(1984)	32.6	25.2	30.0	50.3	86.9	153.1	99.5	131.9	53.5	124.7	33.2	41.8	862.7
S60(1985)	0.1	97.8	70.5	171.1	54.6	399.7	117.3	129.7	88.2	64.6	41.1	10.9	1245.6
S61(1986)	4.9	13.5	195.8	61.0	135.2	119.3	86.8	249.1	302.6	60.7	11.9	55.7	1296.5
S62(1987)	14.7	54.0	48.6	5.8	65.4	96.9	141.6	173.8	174.9	81.2	26.6	47.1	930.6
S63(1988)	6.7	10.5	86.2	53.9	159.5	216.6	109.1	415.6	304.1	52.6	16.1	1.2	1432.1
H1(1989)	79.2	79.5	76.7	87.2	174.2	171.9	338.5	261.6	204.3	149.1	14.1	10.1	1646.4
H2(1990)	27.5	45.2	77.3	62.3	43.9	40.0	57.3	214.3	296.8	109.7	280.7	24.4	1279.4
H3(1991)	10.3	34.6	97.6	72.0	56.1	131.5	153.5	416.3	309.8	381.4	29.7	16.6	1709.4
H4(1992)	32.1	3.3	137.6	126.6	125.2	235.1	85.7	141.2	39.9	208.8	30.4	20.7	1186.6
H5(1993)	80.3	26.3	40.6	40.8	67.4	170.9	250.1	214.5	225.1	94.1	85.2	22.7	1318.0
平均	23.9	36.3	54.0	74.1	91.3	170.4	193.4	230.4	181.7	141.1	48.9	21.5	1265.5
偏差平方和 s	26619.7	31840.7	71347.2	62460.8	109739.0	315457.4	571777.8	882309.6	649446.4	513886.4	103895.6	19724.5	3507024.3
分散 $v=s/n$	475.4	568.6	1274.1	1115.4	1959.6	5633.2	10210.3	15755.5	11597.3	9176.5	1855.3	352.2	62625.5
標準偏差 $s=\sqrt{v}$	21.8	23.8	35.7	33.4	44.3	75.1	101.0	125.5	107.7	95.8	43.1	18.8	250.3
平均月雨量以下の月数	32	36	34	30	34	33	34	33	32	38	32	33	30
平均月雨量月数の%	57.1	64.3	60.7	53.6	60.7	58.9	60.7	58.9	57.1	67.9	57.1	58.9	53.6
標準偏差/平均月雨量(%)	91.2	65.6	66.1	45.1	48.5	44.1	52.2	54.5	59.3	67.9	88.1	86.2	19.8
平均月雨量以下の平均雨量	9.5	20.2	31.2	54.7	62.4	121.7	128.3	143.0	107.5	88.7	23.3	8.7	1080.0
平均低月雨量/平均月雨量(%)	39.7	55.6	57.8	73.8	68.3	71.4	66.3	62.1	59.2	62.9	47.6	40.5	85.3
平均低月雨量以下になる年数	16	16	17	16	18	18	17	18	18	19	14	18	13
平均低月雨量以下になる確率(%)	28.6	28.6	30.4	28.6	32.1	32.1	30.4	32.1	32.1	33.9	25.0	32.1	23.2

□ : 平均月雨量以下

□ : 長期間に渡り平均月雨量を下回る

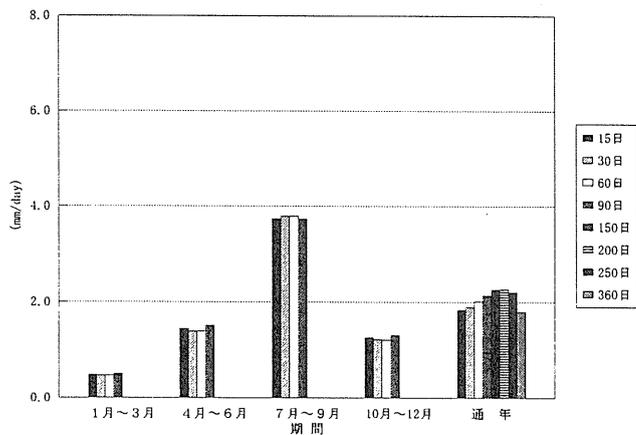


図 2・2 下久保ダム流出高移動平均量全量による
21年間の平均値

表 2・1 移動平均量全量による21ヶ年平均値の流出率

移動日数 期別	15日	30日	60日	90日	150日	200日	250日	360日	平均
1月～3月	0.36	0.35	0.35	0.36	-	-	-	-	0.36 (0.42)
4月～6月	0.44	0.45	0.45	0.44	-	-	-	-	0.45 (0.44)
7月～9月	0.58	0.58	0.58	0.58	-	-	-	-	0.58 (0.58)
10月～12月	0.72	0.73	0.72	0.70	-	-	-	-	0.72 (0.72)
通年	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54 (0.55)

※ 流出率=下久保ダム平均流入高 (mm) ÷ 万場平均降水量
() は各期間内の合計値による流出率

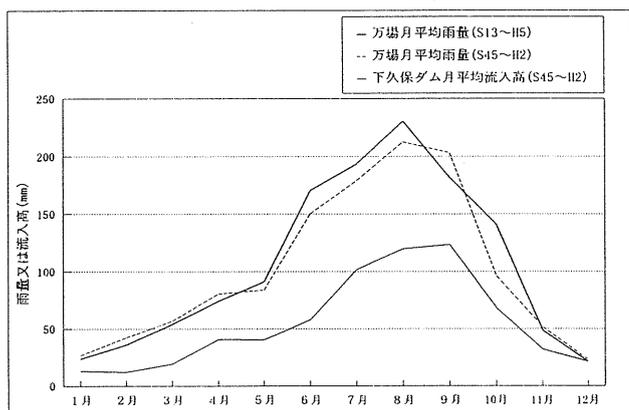


図 2・3 月平均雨量・流入高変化図

2.3 移動平均量の発生頻度

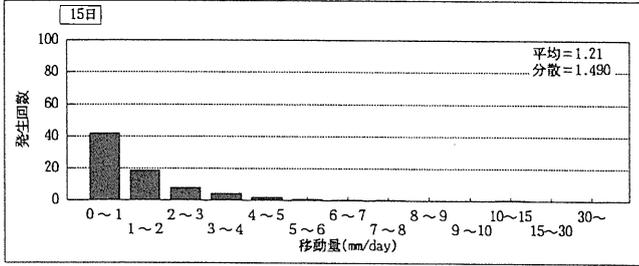
各年の移動平均量の全量及び各年最小値を期別及び通年についてそれぞれ値毎に分類し、その発生頻度をヒストグラムとして作成した。図 2・4 に示す平均量では万場は 1 月～3 月、10 月～12 月は同様な傾向を示しており、平均量が 1 mm 以下の発生回数が最も多くなっている。4 月～6 月では 2～3 mm の発生回数が多く、降水量が増加しているのがわかる。特に 7 月～9 月では更に値が大きくなり、10 mm～15 mm の発生回数が前後に比べ多くなっており、大きな降雨が発生していることがわかる。通年では移動平均日数が増えると発生量が大きな値で増加しており、平均量が 2～5 mm に集中する分布型となっている。また、図 2・5 に示す最小値によるヒストグラムでは 1 mm 以下の値が多く、特に移動日数が 15 日～30 日が卓越している。しかし、全体の傾向として移動平均量と同様な傾向にある。このことは、表 2・2 に示した各期別の移動平均最小値 (30 日、60 日、90 日) による 56 年間の平均値と分散を用いて算定した (標準偏差/2) の値を通年の値と比較しても同様な傾向があり、4 月～9 月、特に 7 月～9 月の比率が大きくなっているが、同じ期別内の移動日数が変化しても比率は同程度の値となっている。

図 2・6 は移動日数毎の移動平均の全量と各年あるいは各期の最小値をプロットした図であるが、期別では移動平均最小値は移動日数が 90 日で全量を用いて算定した移動平均の平均値に一致するが、通年では 250 日でも平均移動量の約 80% にしかならない。

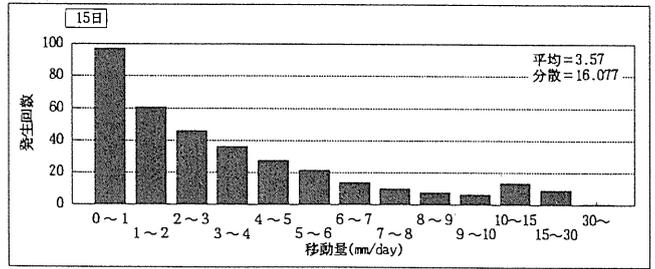
図 2・7 には万場の雨量と下久保ダムの流入高の移動平均最小値の経年変化図を示した。両者は前述のことから判るとおり、ほぼ同様な変化となっている。また、移動平均最小値は、移動日数の各々に対し計算的にはほぼ同様な変化を示すと見て良いようである。すなわち 30 日間程度最小雨量であれば、90 日間以上の最小値もやはりその程度が継続すると見なして良いようである。

なお、万場雨量の移動平均年最小値の 1938 年より 1993 年までの平均値、標準偏差の 1/2 および移動平均の通年の平均値、標準偏差の 1/2 を表 2・2 に示し、両者の関係を図 2・6 に示した。これより、どの程度の期待値で河道内の動・植物に影響を与えるかが動・植物の生活環境の変化により判断することに役立つものと思われる。あるいは、簡便に 4. に述べる頻度分布により考えることもできる。

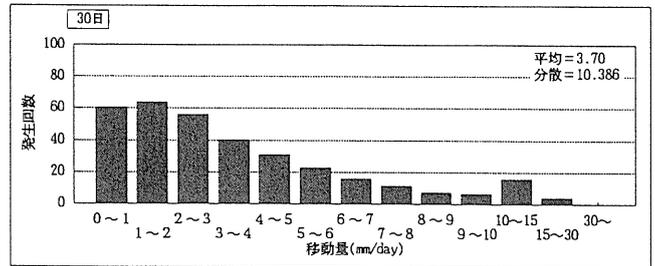
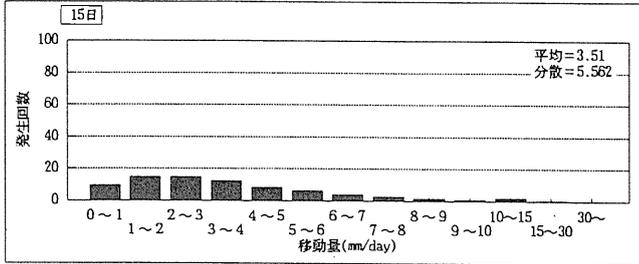
1月～3月



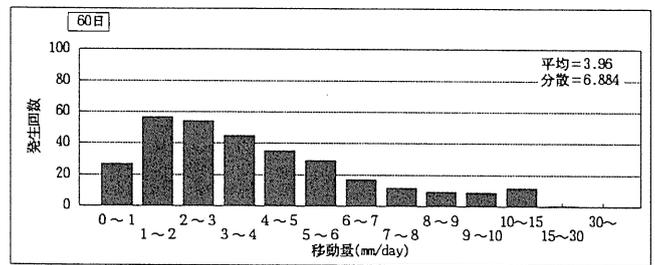
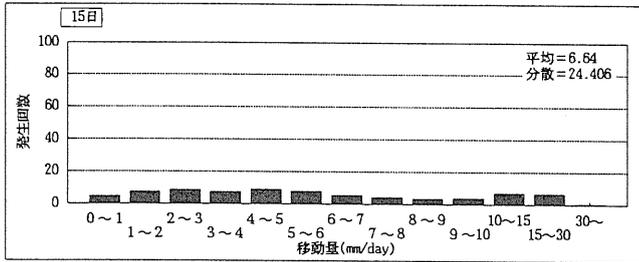
通年



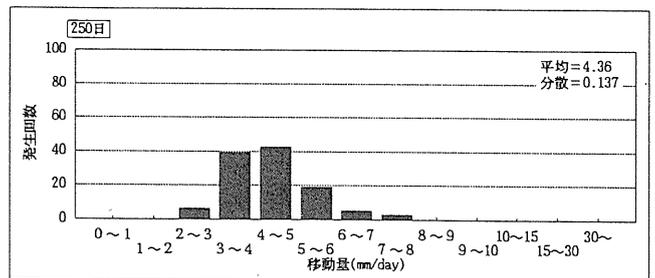
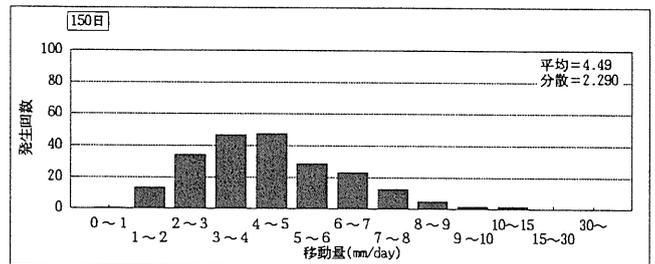
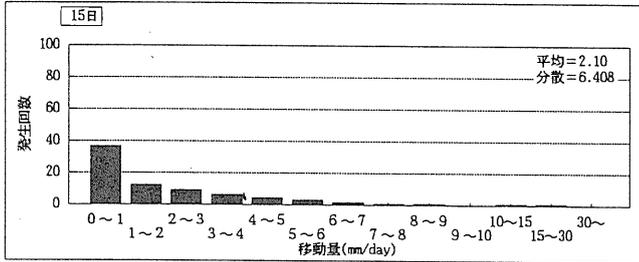
4月～6月



7月～9月



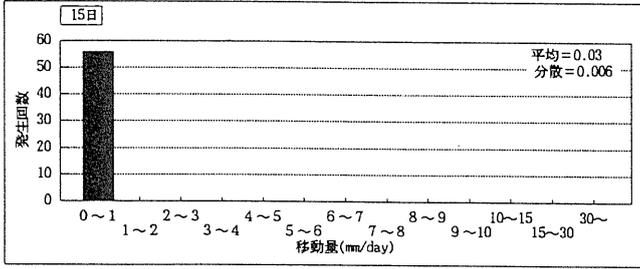
10月～12月



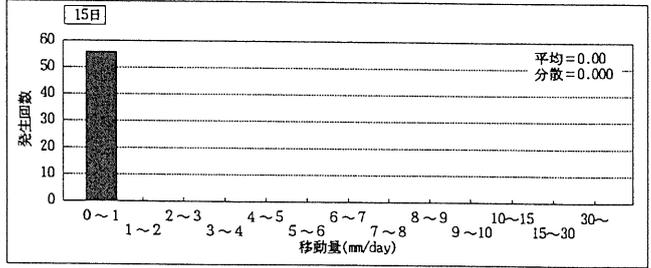
(平均 : mm/day)
分散 : mm/day)

図 2 ・ 4 万場移動平均量の56年間の発生頻度

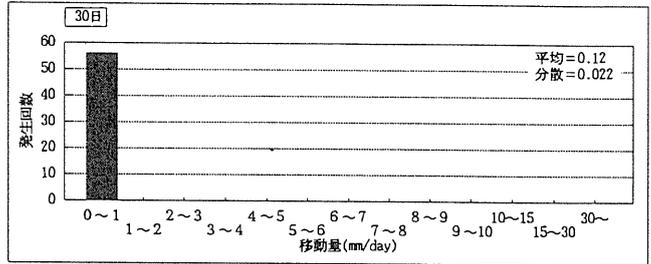
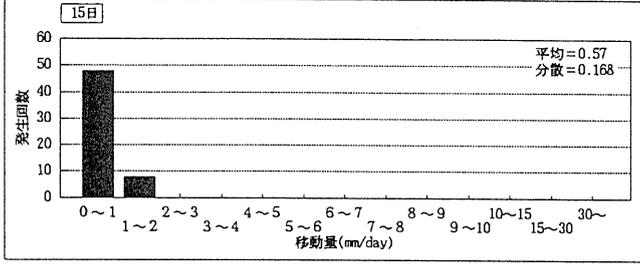
1月～3月



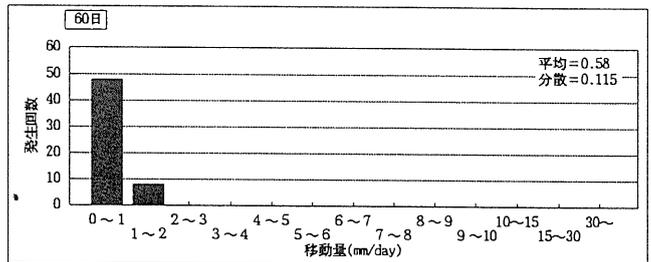
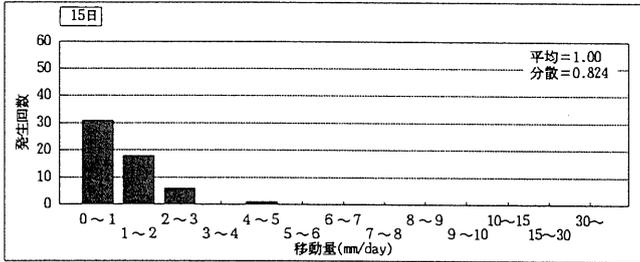
通年



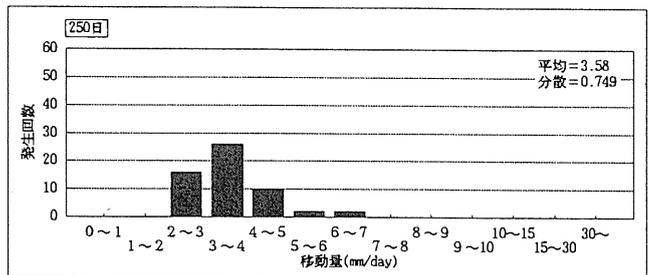
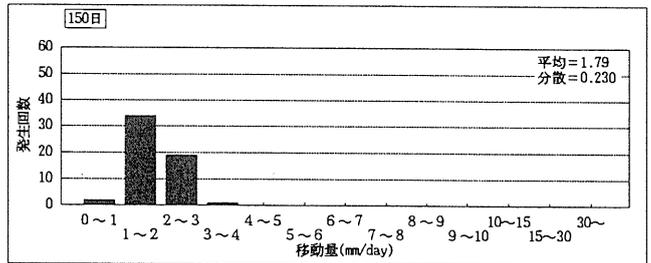
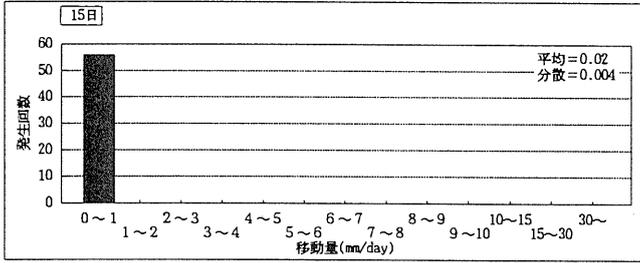
4月～6月



7月～9月



10月～12月



(平均 : mm/day)
分散 : mm/day)

図 2・5 万場移動平均量の最小値による56年間の発生頻度

表2・2 移動平均最小値の平均と（標準偏差／2）による期別と通年の比率（万場雨量）

移動日数	比率	平均の比			標準偏差／2の比		
		当該の値	通年の値	比率	当該の値	通年の値	比率
1月 ～ 3月	30日	0.30	0.12	2.5	0.17	0.07	2.4
	60日	0.82	0.58	1.4	0.24	0.17	1.4
	90日	1.23	1.03	1.2	0.27	0.20	1.4
4月 ～ 6月	30日	1.38	0.12	11.5	0.32	0.07	4.6
	60日	2.44	0.58	4.2	0.42	0.17	2.5
	90日	3.64	1.03	3.5	0.52	0.20	2.6
7月 ～ 9月	30日	2.55	0.12	21.3	0.71	0.07	10.1
	60日	5.09	0.58	8.8	1.12	0.17	6.6
	90日	6.48	1.03	6.3	1.17	0.20	5.9
10月 ～ 12月	30日	0.29	0.12	2.4	0.16	0.07	2.3
	60日	1.06	0.58	1.8	0.37	0.17	2.2
	90日	2.23	1.03	2.2	0.61	0.20	3.1

※ 標準偏差 = $\sqrt{\text{分散}}$

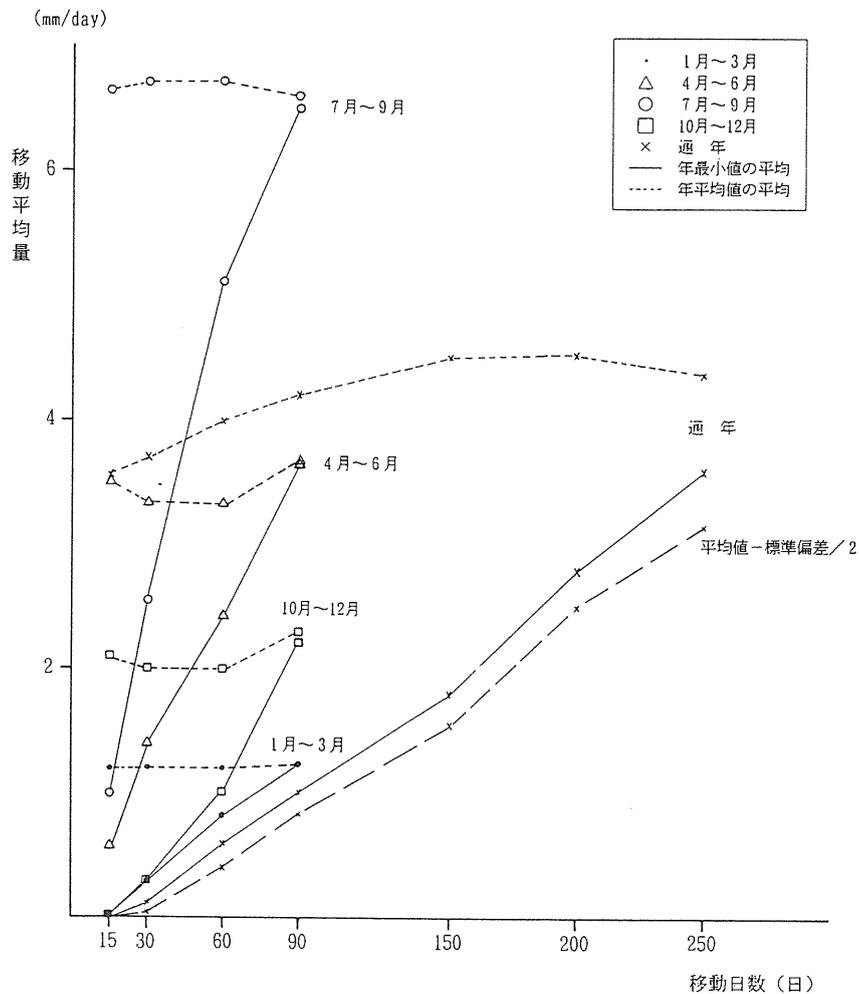


図2・6 万場移動日数による移動平均最小値と平均値の関係（56年平均値）

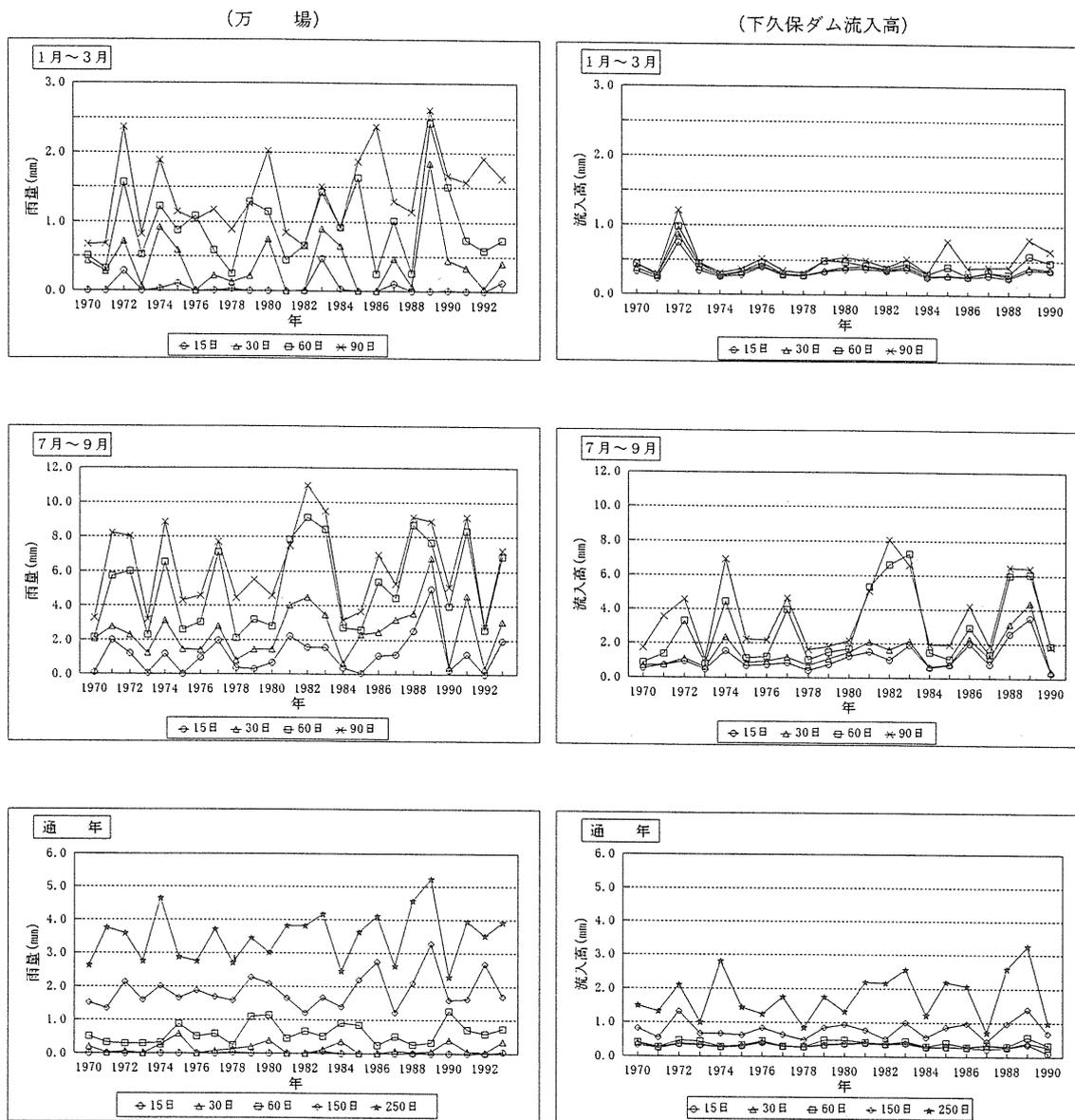


図2・7 移動平均最小値経年変化

3. 移動平均雨量と移動平均河川流量の関係

下久保ダムの流入量はダム流入量をダム貯留量（水位記録より測る）より連続条件より計算されたもので、他の流量観測所より相当精度が良いと考えられるが、その資料が揃う21ヶ年間（1970年～1990年）について万場の移動平均雨量と下久保ダムの移動平均流入量の相関関係について検討を行った。

万場と下久保ダムの移動平均量の全量を用い同時生起ではなく、発生日を1日ずつ10日間までずらした場合の相関解析を行ったところ、図3・1に示した様に降水量が少ない1月～3月では日をずらす毎に相関係数が高くなる傾向にあり、4月～6月、7月～9月

と降水量が増加してくるに従い、相関係数は低くなる傾向にある。これは、降水量が増加する4月～9月では表面流出が卓越する様になり、特に7月～9月では台風等の多量の降雨がすぐ流出につながり、ダム流入量も同時に増加する様になることから日数のずれた場合の値の変化が大きく、相関が悪くなるものと考えられる。

また、移動平均の最小雨量と最小流量ではその発生日は図3・2に示すとおりばらつきが見られるものの、発生日のずれはなくほぼ同時（同日）に発生しているものと考えられる。よって移動平均雨量と移動平均のダム流入量はほぼ同時に生起しているものと判断される。

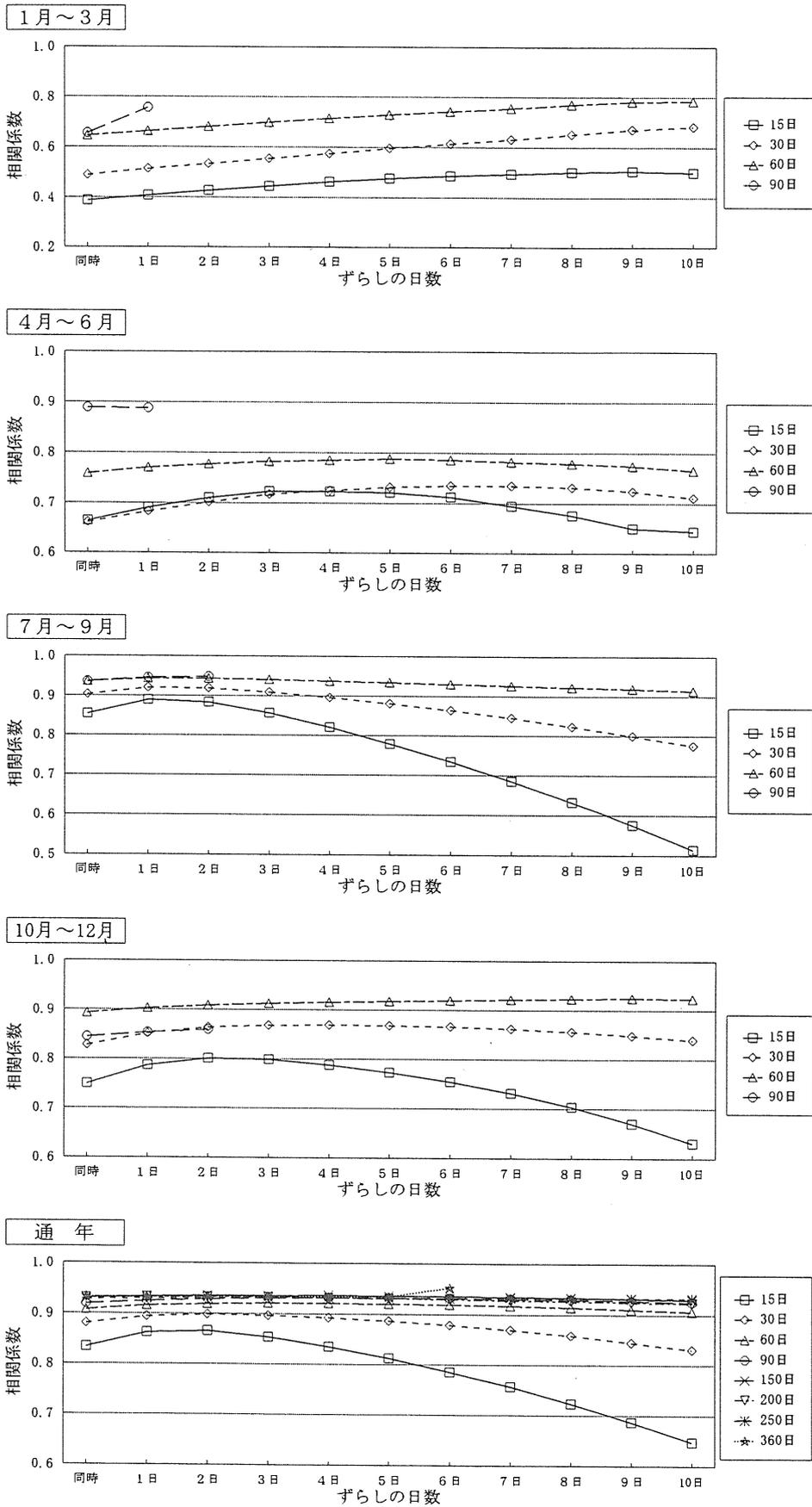


図3・1 日のずらしによる移動平均量(21ヶ年全データ対象)の相関係数(万場～下久保ダム)

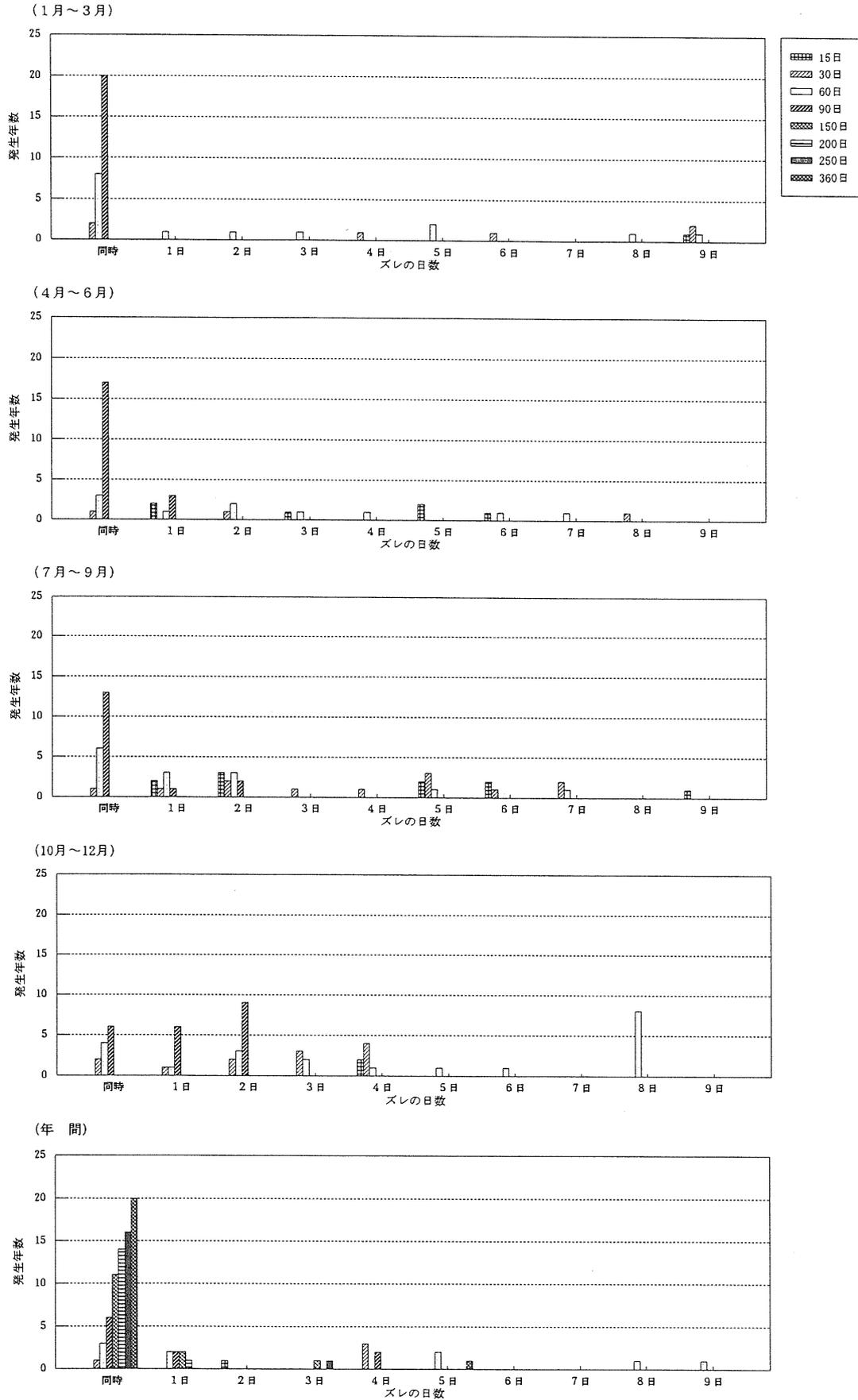


図3・2 移動平均最小雨量と最小流量の生起日のズレの日数

4. 移動平均量の頻度分布

年最小の移動平均雨量を Weibullの非超過確率の理論により、正規確率紙にプロットを行った。

$$P_k = k/(N+1) \dots\dots\dots(4 \cdot 1)$$

ここで、 P_k : 非超過確率

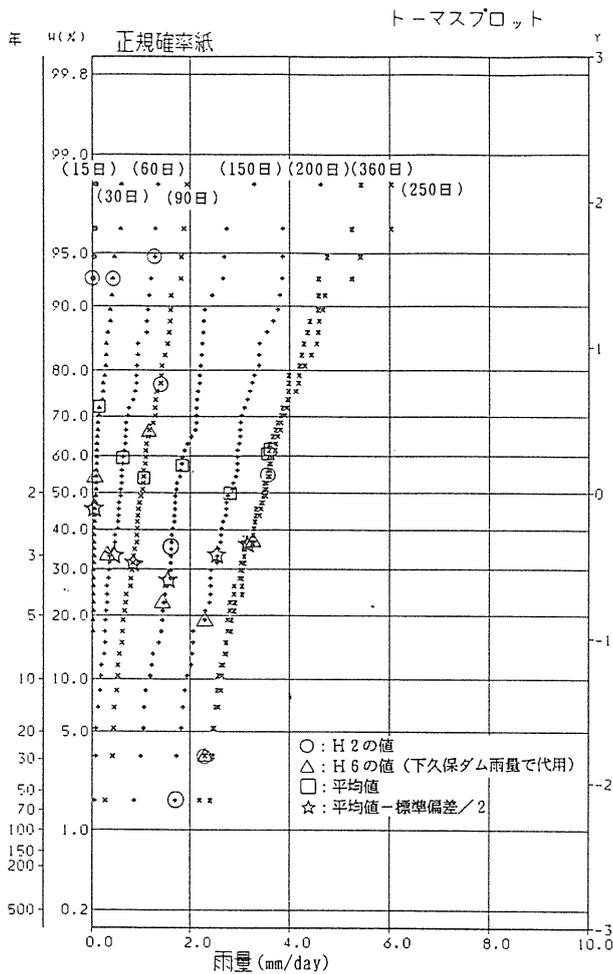
k : 小さい順に並べた時の順位

N : 観測年数

正規確率紙では、図 4・1(1)、4・1(2)のようになり、対数正規確率紙でプロットした図(図 4・1(3))に比べば直線になっている。この例では、年最小移動平均量は統計的には、正規確率分布をすると考えて良い

ようである。この確率図に、近年の渇水年である平成2年と平成6年の値を示した。この図から、4月～9月にかけて兩年の値はかなり小さく移動日数によりバラツキはあるものの4月～6月では10～20年に1回発生する量を示しており、特に平成2年の移動日数90日では過去最小値を示している。このことから、春先～梅雨にかけて小雨の場合、渇水になる傾向が表れているものと考えられ、また、移動日数がこの梅雨～夏を含む200日～250日で下位の位置を示していることから、前半の雨量が少なかったことが渇水を生じさせたものと考えられる。

(万場：通年)



(下久保ダム：通年)

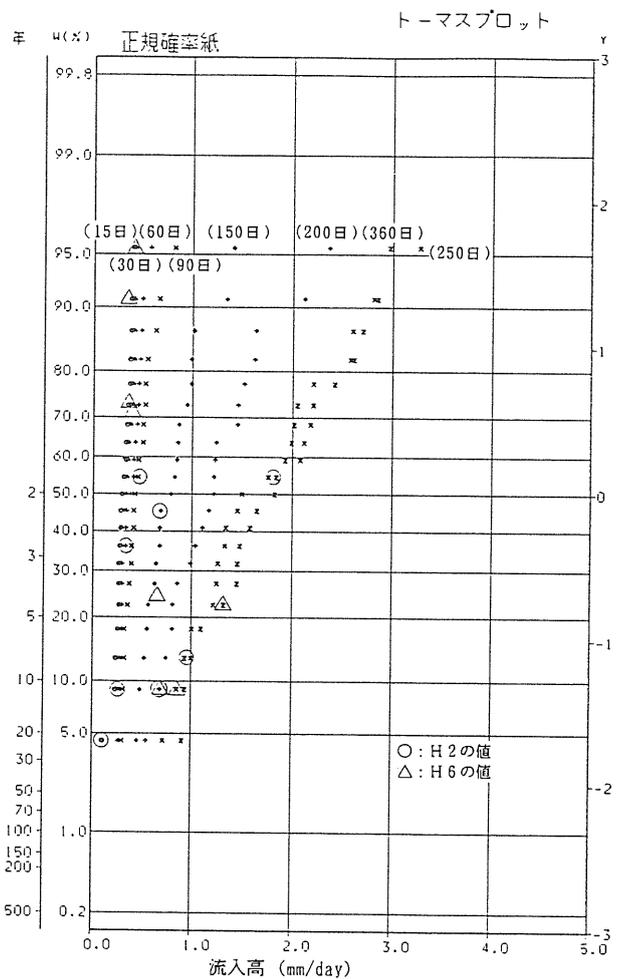
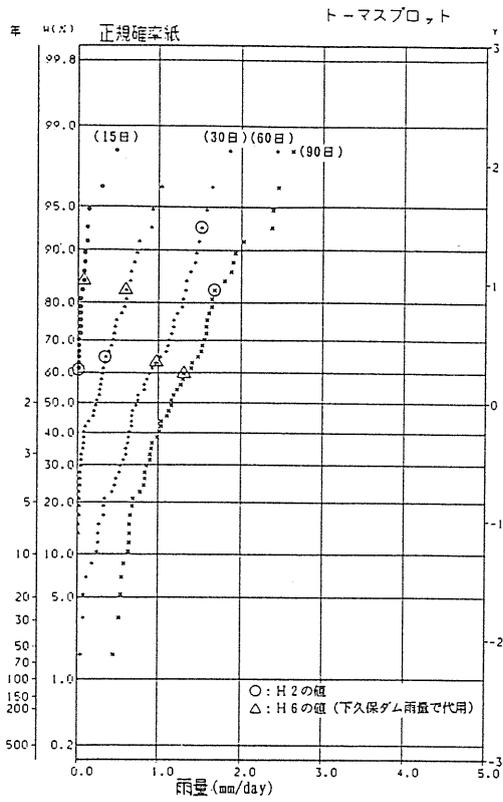
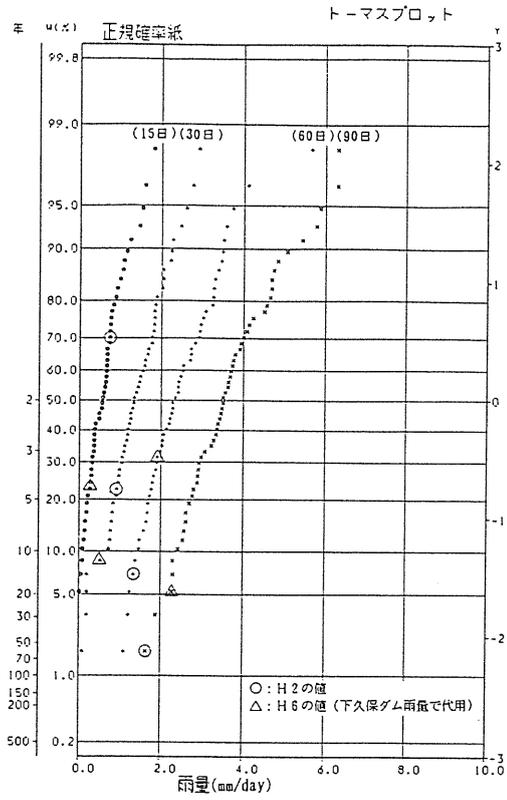


図 4・1(1) 移動平均最小値確率図

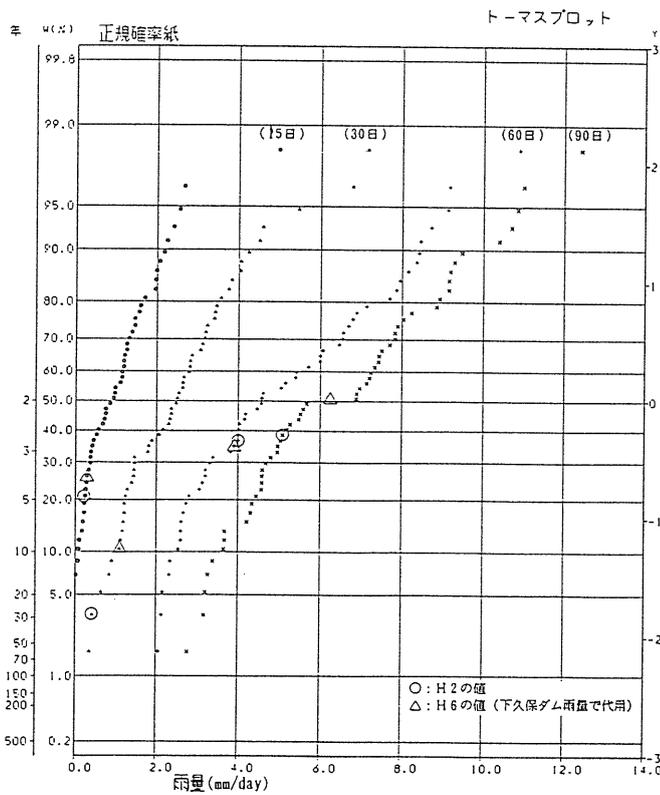
(万場：1月～3月)



(万場：4月～6月)



(万場：7月～9月)



(万場：10月～12月)

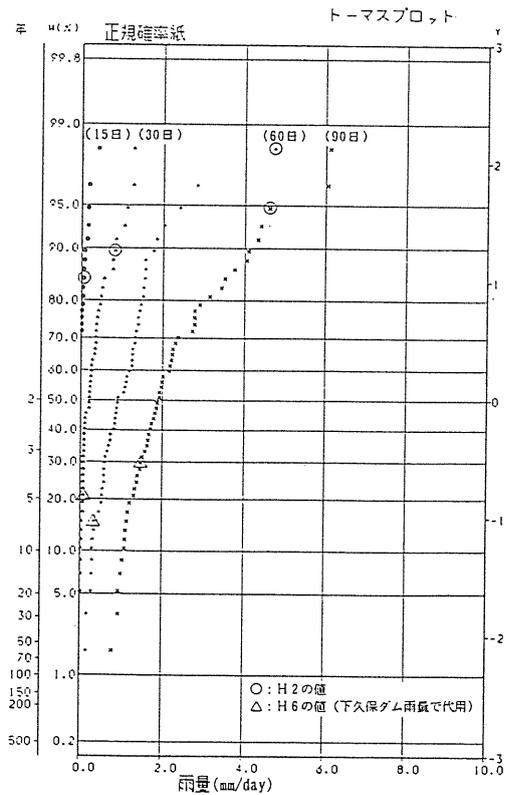


図4・1(2) 移動平均最小値確率図(万場)

(万場：1月～3月)

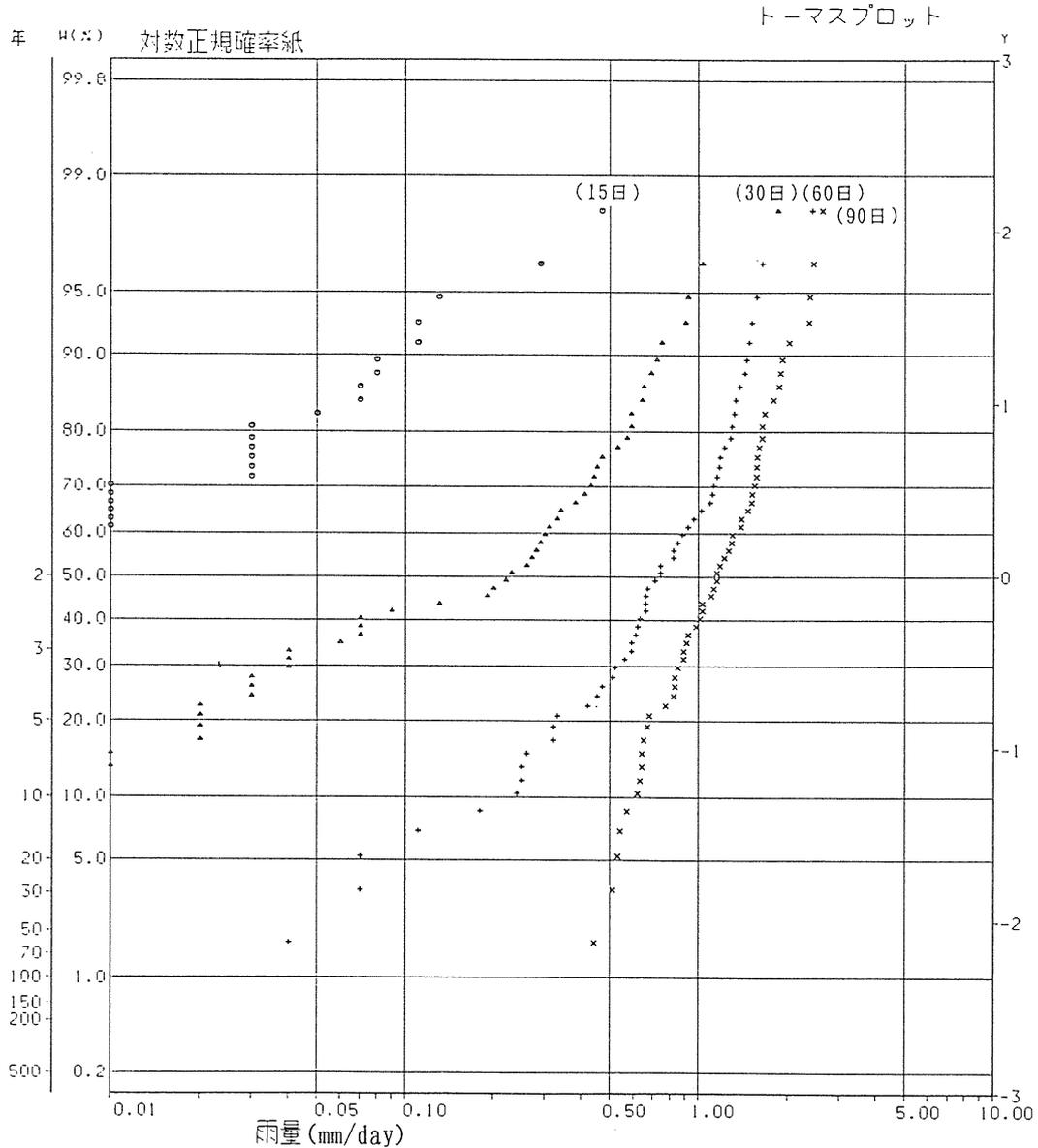


図4・1(3) 移動平均最小値確率図 (対数確率)

5. 期待降水量

図4・1はある確率を想定した場合、最小でも降るであろう平均雨量を示しており、確率を危険率と置き換えれば、ある危険率のもとでの今後n日間に降る雨の量が想定できることとなる。表2・1で示した平均の流出率を用いれば流出量に換算可能であるが、図5・1に示した移動平均全量を用いた万場の雨量と下久保ダム流入量(流入高〔mm〕に変換)の相関では、特に7月～9月における移動日数15日ではかなりばらつきが見られる。よって移動平均量算定時の前期7日間における雨量による傾向を調べた。図5・2は前

期雨量が10mm以下、20～30mm、50mm以上の場合の移動平均量をプロットした図である。この図から前期雨量が少ない場合流出率が小さく、前期雨量が多いと流出率が高くなる傾向にある。ただし、この傾向は雨量が多い4月～9月においてである。

よって、図4・1を用いある危険率を想定すれば今後n日間における平均雨量が推定可能となり、前期雨量を考慮した流出率を用いれば流量に換算できることからダムの貯水可能量あるいは直接流出量が推定でき、下流の必要量を考慮すればダムがある場合には現在貯留すべき容量を算定できることとなる。

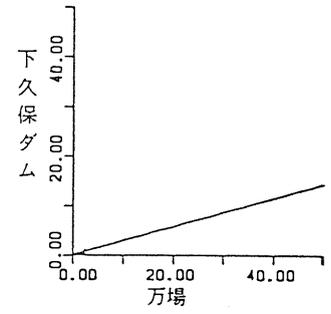
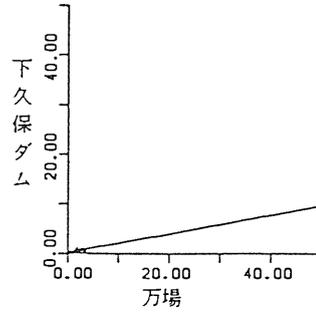
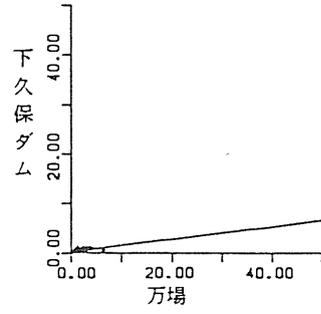
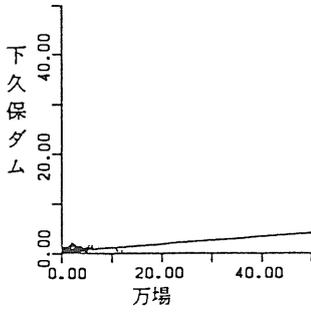
(移動日数15日)

(移動日数30日)

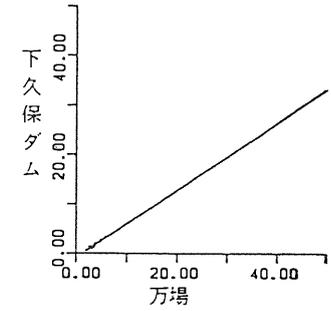
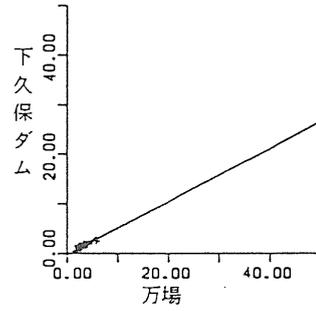
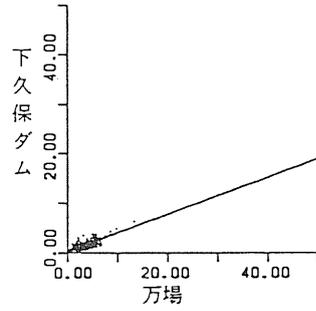
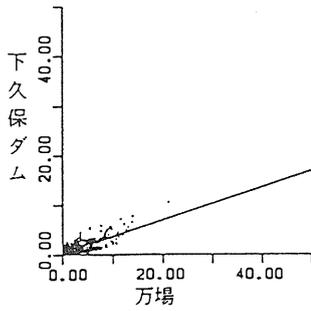
(移動日数60日)

(移動日数90日)

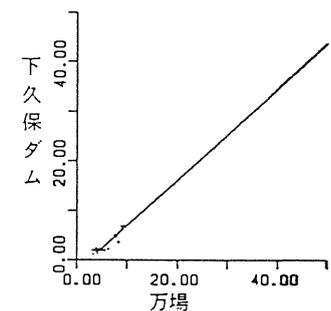
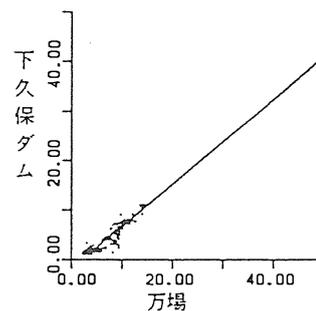
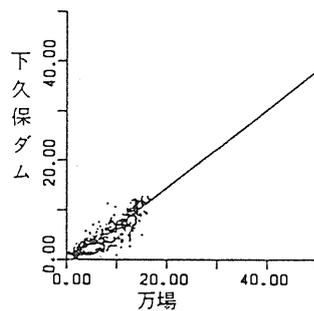
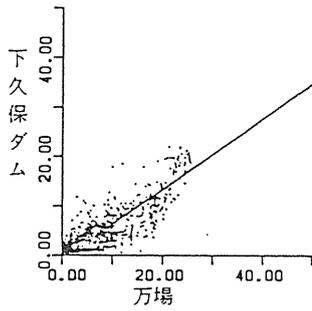
〔1月～3月〕



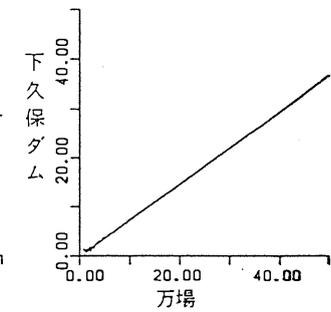
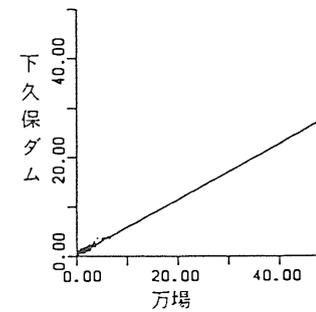
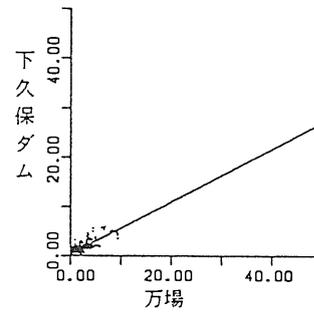
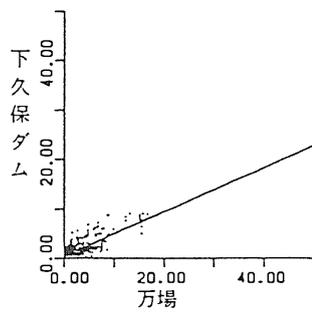
〔4月～6月〕



〔7月～9月〕



〔10月～12月〕



(単位：mm/day)

図5・1 近年21ヶ年の移動平均量相関図(下久保ダム～万場)
※下久保ダムは流入高に変換

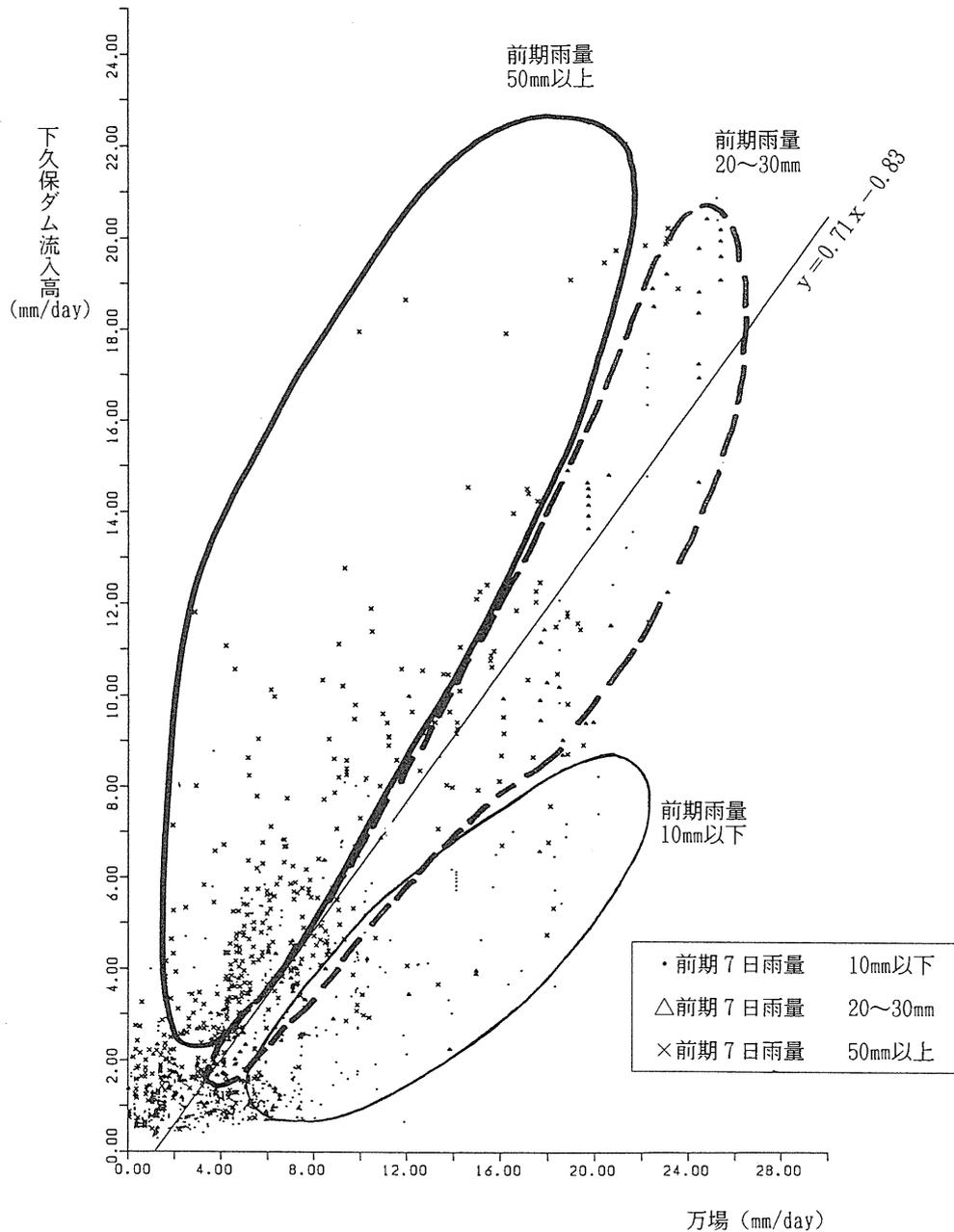


図5・2 前期雨量を考慮した移動平均雨量～流量相関図
(7月～9月の移動日数15日)

6. おわりに

降水量の将来予測は非常に難しく、現在各機関で研究中であるが、有効な手法は見出されていない。本研究は過去の資料を用いて移動平均量を算定することにより、危険率を設定すれば降水量を推定することが可能であることがわかった。しかし、対象地域が1箇所であることから、各地において同様の研究を行う必要がある。今後は他の地点の観測資料により本研究の妥当性を検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 吉川秀夫 (1993) : 河川工学 (改訂増補版) P.59 朝倉書店
- 2) 社日本河川協会 (1993) : 雨量年表
- 3) 社日本河川協会 (1993) : 流量年表
- 4) 水資源開発公団 (1990) : 水資源開発施設等管理年報

河川水質と流域人口（第2報）

門松 武*・齊藤雄三郎**・桑原 紀博***

1. はじめに

第5次の全国総合開発計画の策定に向け、国土審議会では21世紀を人と自然の友好的な関係を再構築する世紀であると位置づけ、流域を単位とする人と自然の関り、地球環境問題を念頭に置いた人間活動のあり方等を検討している。

また、平成8年6月28日に河川審議会から建設大臣に提出された『21世紀の社会を展望した河川整備の基本的方向について』の答申において、「流域毎にその流域における自然と人間の諸活動との持続的な均衡を維持するためには、土地利用や人口・産業の配置にあたって、人間が自然の資源を利用する上で守るべき量が考慮される必要がある」、さらに「水関係者からも、健全な水循環系の確保の観点から、流域における森林・農地・都市のあるべき姿を検討し提案するとともに、流域の関係者により構成される組織の設置など流域を基本とした仕組みについて検討すべきである」と指摘されている。

これを受け、行政としては流域を基本単位とした水に関する様々なデータや指標を作成し、これを国民に提示して国土のあるべき姿について広く論議を深めることとし、このため、河川局はその趣旨に添って調査研究に着手した。本調査結果はその調査研究の成果の一つである。

吉川・斎藤¹⁾は、このような河川流域の限りある環境容量という視点からの考察を容易にするための一手法として、河川水質ポリゴン（BOD、低水比流量、低水量賦存量、人口密度、下水処理人口比の5指標による）による河川特性の類型化、さらには水量、水質から見た適正流域人口密度について検討を行った。

本稿は、この水質ポリゴンを全国の一級河川に適用し、その類型化を行うとともに、さらに各指標により水量、水質から見た適正な流域人口密度について検討し、その人口密度を基準として一級河川の類型化を試

み、今後の課題等について考察を加えたものである。

本稿においては検討条件等を相当大胆に設定しているが、とりあえず公表し、各方面のご批判を仰ぎ、今後の調査研究の糧としたい。

2. 一級河川に関する河川水質ポリゴン図の作成

極めて単純に見れば、河川への汚濁負荷の総排出量は人口に依存し、それが河川流量で希釈されたものが河川水質と考えることができよう。また、流域内人口を単位面積で見ると人口密度で表すことができ、河川流量は比流量で表すことができる。河川水質（ここではBODを採用）はおおまかには河川の低水流量時のものがその代表値と考えられるので、河川流量は単位流域面積当たりの低水流量（低水比流量）で見ればよいであろう。

この低水比流量は多分に自然特性として与えられるものであるが、水利用という観点からは1人1日当たり利用することのできる低水流量（低水量賦存量あるいは1人1日低水流量）も考える必要がある。

また、BOD負荷量のほとんどは下水道により処理されるので、流域人口に対する下水処理人口の比（下水処理人口比）が河川水質に大きく影響するものと考えられる。

全国の一級河川に関する河川水質ポリゴン図の作成に当って、各河川の水質特性をより把握し易いように、これら5つの指標（BOD、低水比流量、1人1日低水流量、人口密度、下水処理人口比）を使用し、ここでは各指標の全国単純平均値をそれぞれ単位1とすることとする。

今回は、できるだけ広く水系全体が概観できるように、原則として各河川の下流の水質、流量観測地点の上流域について検討することとし、大きな支派川も検討対象に加えることとした。また、各流域の状況の経年的変化をみるため、昭和43年、55年及び平成2

* 門松 武 建設省 河川局河川計画課 河川計画調整官

** 齊藤雄三郎 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長

*** 桑原 紀博 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究員

年を検討対象とした。

基礎データは基本的に建設省資料に拠ったが、補足的にBODについては水質年鑑²⁾、低水流量については流量年表³⁾、市町村別人口については住民基本台帳⁴⁾（昭和43年のみ）及び国勢調査⁵⁾、市町村別下水処理人口については公共下水道統計⁶⁾（昭和43年のみ）及び下水道統計⁷⁾を用いた。

ここでは便宜上、BOD値として年間平均値を使用し、また、流域内の人口及び下水処理人口の算出に当って、流域界で分割される市町村については当該市町村の各人口を面積比で按分して求めた。

このようにして各河川の各指標値を計算し、平成2年における全国109水系124河川の各指標値の単純平均値をそれぞれの基準値とした。各基準値を表-1に示す。

表-1 各指標の基準値

指 標	
BOD (mg/ℓ)	1.94
下水処理人口比 (%)	21.20
人口密度 (人/km ²)	352
一人一日低水流量 (m ³ /人/日)	21.62
低水比流量 (m ³ /s/100km ²)	2.02

3. 河川水質ポリゴンによる一級河川の類型化

このようにして各河川の水質ポリゴン図を作ると、図-1のように4つの型に類型化されることがわかる。

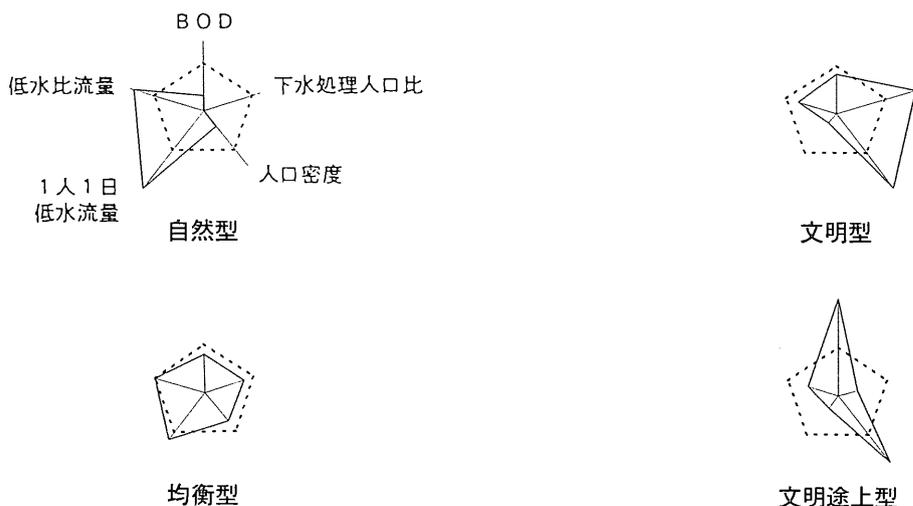


図-1 水質ポリゴンの型

I.「自然型」は、人口密度が低く、低水比流量が比較的小さくないため、その希釈効果によってBOD値が小さくなり、下水処理をほとんど必要としない河川流域である。

II.「文明型」は、人口密度が比較的高く、低水比流量が比較的小さい一方、下水処理が比較に進んでいるため、BOD値がそれなりに低く抑えられている河川流域である。

III.「均衡型」は、自然型と文明型の中間的なもので、自然型より人口密度が高いが、下水処理と河川水による希釈により年平均BOD値がおおむね表-1の基準値を守る程度に抑えられている河川流域である。

IV.「文明途上型」は、人口密度が極めて高いため、低水比流量が比較的大きい場合でも1人1日低水流量が非常に小さく、かつ下水道の整備が遅れているためBOD値が極めて高い河川流域である。

今回作成した昭和43年、55年及び平成2年の河川水質ポリゴン図のうち、主として平成2年のポリゴン図により一級河川の類型化を試みた。その結果を表-2に示す。なお、表中、I～IVへの分類が適当でないものについては、その他の型としてVと表示した。また、図-2～5に各型の典型的な水質ポリゴン図（平成2年）の例を示す。

このように、水質ポリゴンを一つの手段として有効に利用すれば、河川水質の現状について、規定している要因を含め容易に理解することができ、さらに、流域内人口の増減、下水処理の進展あるいはダム、堰等による水補給の効果を推定したり、望ましい河川水質を確保するための新しい対策を検討するのに役立つことができると考えられる。

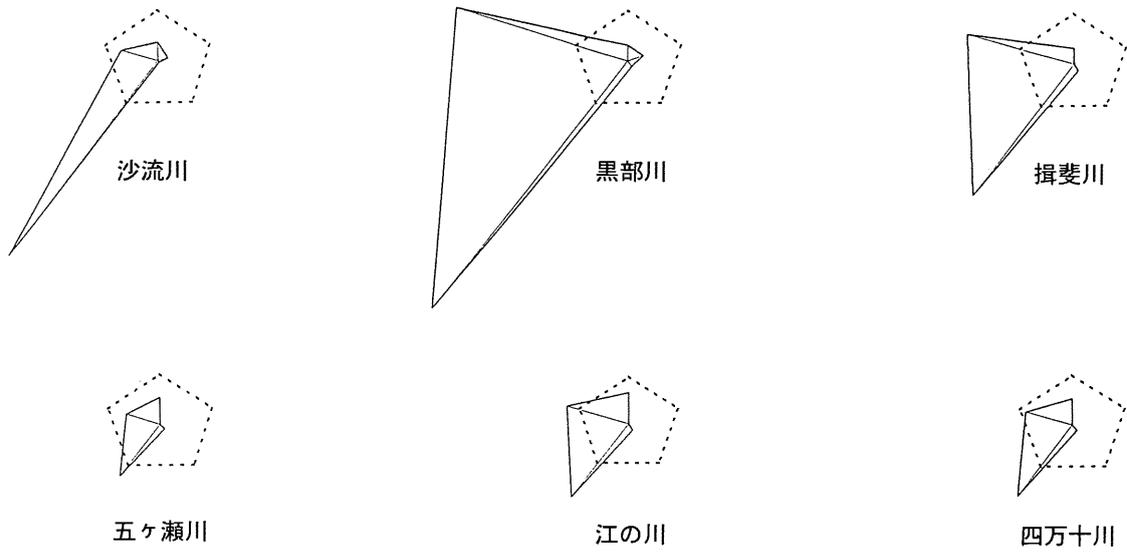


図-2 I型（自然型）の例



図-3 II型（文明型）の例

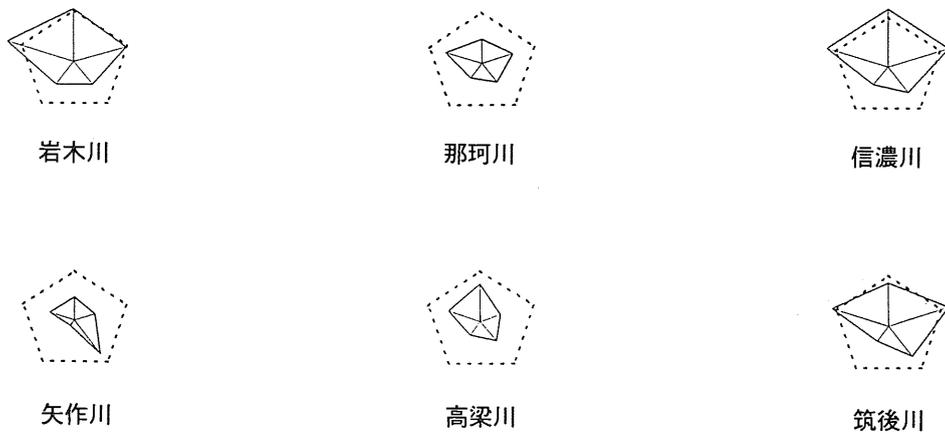


図-4 III型（均衡型）の例

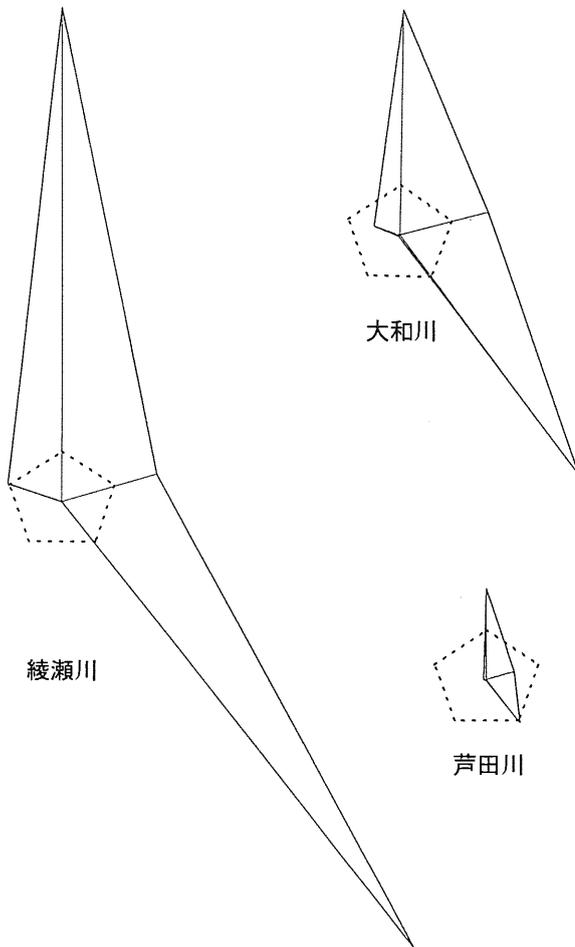


図-5 IV型（文明途上型）の例

4. 水量・水質から見た適正な流域人口密度

各地の地域計画（河川流域計画）を策定する際に、河川流域内の人口は一体どの程度であれば河川の水質からみて望ましい状態と言えるのかということが重要な問題となる。そこで、前述の水質ポリゴンの指標を用いて、河川の水量、水質の両面からどの程度の流域人口密度が望ましいかについて検討を試みた。

ここで、規準として、平均的な河川の正常流量が渇水流量程度と見られることから渇水流量時を考えることとする。渇水流量は河川や年によってかなり異なるが、ここでは単純に、我が国の平均的な渇水流量と言われている $1 \text{ m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$ を用いることとする。

(1) 水使用の観点から本来的に水不足となりうる河川流域

流域内で水の自給自足をするためには、1人1日最大使用水量は1人1日当たりの渇水流量以下でな

ければならない。したがって、最も使用水量の少ないケースとして現在の都市用水使用量 $0.4 \text{ m}^3/\text{人}/\text{日}$ を考えると、流域人口密度は $2160 \text{ 人}/\text{km}^2$ ($1 \text{ m}^3/\text{s}/100\text{km}^2 \div 0.4 \text{ m}^3/\text{人}/\text{日}$) が限界ということになり、これを上回る流域においては、水不足に備えて

- ①人口の他流域への分散，節水など水需要削減策
- ②ダム，堰等の建設，他流域からの導水，水の再利用などの水供給量増加策

を進めなければならないことが理解されよう。

(2) 良好な河川水質を維持しうる河川流域

1) 全流域人口について下水処理を行う場合

ここでは望ましい河川水質を $\text{BOD } 2 \text{ mg}/\ell$ 以下とする。これを維持するために全流域人口について下水処理を行うとして、どの程度の流域人口密度まで許容されるのかを知っておくことも大切な事と思われる。

ここで1人1日当たりのBOD排出負荷量を 30g とし、現在行われている二次処理程度を考慮して下水処理によるBOD負荷量の除去率を 0.8 とすると、流域人口密度は $288 \text{ 人}/\text{km}^2$ ($2 \text{ mg}/\ell \times 1 \text{ m}^3/\text{s}/100\text{km}^2 \div 30\text{g}/\text{人}/\text{日} \div (1 - 0.8)$) が限界値となる。

これを上回るような流域においては、つぎのような対策を地域ぐるみで講じなければならないことが理解されよう。

- ①人口の他流域への分散，排出負荷量の削減などの発生源対策
- ②高度下水処理，河川水質浄化対策など排出された負荷の除去強化対策
- ③ダムや他流域からの導水などによる渇水流量の増加策

2) 下水処理をしない場合

逆に、下水処理を全くしなくても、河川水の希釈効果のみで望ましい河川水質 ($\text{BOD } 2 \text{ mg}/\ell$ 以下) を維持しうる流域人口密度を求めると、 $58 \text{ 人}/\text{km}^2$ ($2 \text{ mg}/\ell \times 1 \text{ m}^3/\text{s}/100\text{km}^2 \div 30\text{g}/\text{人}/\text{日}$) となる。

5. 流域人口密度による一級河川の類型化

4. で求めた各人口密度を基準として、平成2年ににおける全国の各一級河川の状況を見るため、つぎの4つのタイプに分類を試みた。

- ①水使用の観点から本来的に水不足となりうる河川流域（流域人口密度 $P > 2160 \text{ 人}/\text{km}^2$ ）
- ②流域人口全てについて現行水準で下水処理を行ったとしても望ましい河川水質が保全されない河川流域（ $P > 288 \text{ 人}/\text{km}^2$ ）

③流域人口全てについて現行水準で下水処理を行えば望ましい河川水質が保全される河川流域 ($288 \geq P > 58$ 人/km²)

④河川水の希釈効果のみで望ましい河川水質が保全される河川流域 ($P \leq 58$ 人/km²)
その結果を表-2に示す。

表-2 一級河川流域の類型化

北海道地方					北陸地方				
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分	人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分
89	常呂川水系	常呂川(忠志橋)	Ⅲ	③	412	小矢部川水系	小矢部川(城光寺橋)	Ⅱ	②
88	石狩川水系	石狩川(石狩大橋)	Ⅲ		326	梯川水系	梯川(鶴ヶ島橋)	Ⅲ	
76	釧路川水系	釧路川(新川橋)	Ⅲ		218	信濃川水系	千曲川(千曲橋)	Ⅲ	③
74	留萌川水系	留萌川(留萌橋)	Ⅰ		214	信濃川水系	信濃川(帝石橋)	Ⅲ	
40	十勝川水系	十勝川(茂岩橋)	Ⅴ	④	203	信濃川水系	犀川(小市橋)	Ⅲ	①
28	網走川水系	網走川(治水橋)	Ⅴ		149	関川水系	関川(直江津橋)	Ⅲ	
27	尻別川水系	尻別川(名駒)	Ⅰ		122	神通川水系	神通川(神通川大橋)	Ⅲ	
25	湧別川水系	湧別川(中湧別橋)	Ⅰ		115	常願寺川水系	常願寺川(常願寺橋)	Ⅲ	
23	天塩川水系	天塩川(円山)	Ⅰ	75	阿賀野川水系	阿賀野川(横雲橋)	Ⅰ	④	
18	渚滑川水系	渚滑川(ウツ橋)	Ⅴ	50	庄川水系	庄川(大門大橋)	Ⅰ		
14	後志利別川水系	後志利別川(今金橋)	Ⅰ	44	黒部川水系	黒部川(下黒部橋)	Ⅰ		
12	沙流川水系	沙流川(沙流川橋)	Ⅰ	44	姫川水系	姫川(山本)	Ⅰ		
12	鶴川水系	鶴川(鶴川橋)	Ⅰ		43	手取川水系	手取川(白山合口堰)	Ⅰ	
					18	荒川水系	荒川(荒川取水堰)	Ⅰ	
東北地方					中部地方				
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分	人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分
458	名取川水系	名取川(三橋)	Ⅱ	②	1,456	庄内川水系	庄内川(批杷島橋)	Ⅳ	②
249	阿武隈川水系	阿武隈川(岩沼)	Ⅱ		501	狩野川水系	狩野川(黒瀬橋)	Ⅱ	
219	鳴瀬川水系	鳴瀬川(小野)	Ⅲ	③	440	安倍川水系	安倍川(安倍川橋)	Ⅱ	③
191	岩木川水系	岩木川(五所川原)	Ⅲ		431	木曾川水系	長良川(長良大橋)	Ⅱ	
143	雄物川水系	雄物川(楢川)	Ⅲ		415	菊川水系	菊川(国安橋)	Ⅴ	
142	最上川水系	最上川(高屋)	Ⅲ		281	矢作川水系	矢作川(米津大橋)	Ⅲ	
130	赤川水系	赤川(浜中)	Ⅲ	256	鈴鹿川水系	鈴鹿川(高岡橋)	Ⅱ	③	
117	北上川水系	北上川(狐禅寺)	Ⅲ	241	大井川水系	大井川(富士見橋)	Ⅲ		
94	馬淵川水系	馬淵川(尻内橋)	Ⅲ	160	雲出川水系	雲出川(雲出橋)	Ⅲ	③	
93	高瀬川水系	高瀬川(小川原湖)	Ⅲ	126	天竜川水系	天竜川(鹿島橋)	Ⅲ		
67	子吉川水系	子吉川(本荘大橋)	Ⅰ	114	木曾川水系	木曾川(濃尾大橋)	Ⅰ	④	
64	米代川水系	米代川(二ツ井)	Ⅲ	107	豊川水系	豊川(江島橋)	Ⅰ		
				100	櫛田川水系	櫛田川(櫛田橋)	Ⅰ		
				66	宮川水系	宮川(度会橋)	Ⅰ		
				52	木曾川水系	揖斐川(鷺田橋)	Ⅰ		
関東地方					近畿地方				
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分	人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図類型	人口 密度 区分
6,777	鶴見川水系	鶴見川(大綱橋)	Ⅳ	①	1,985	大和川水系	大和川(浅香(新))	Ⅳ	②
3,770	利根川水系	綾瀬川(手代橋)	Ⅳ		1,200	淀川水系	猪名川(軍行橋)	Ⅱ	
2,380	利根川水系	中川(飯塚橋)	Ⅳ	②	1,138	淀川水系	桂川(宮前橋)	Ⅳ	②
2,014	多摩川水系	多摩川(田園調布堰)	Ⅳ		580	淀川水系	淀川(枚方大橋)	Ⅳ	
843	相模川水系	相模川(馬入橋)	Ⅱ		429	加古川水系	加古川(国包)	Ⅱ	
716	利根川水系	江戸川(新葛飾橋)	Ⅳ		403	淀川水系	宇治川(御幸橋)	Ⅱ	
705	荒川水系	荒川(秋ヶ瀬堰)	Ⅱ	373	九頭竜川水系	九頭竜川(布施田)	Ⅱ	③	
502	利根川水系	霞ヶ浦(湖心)	Ⅳ	345	淀川水系	琵琶湖(瀬田川洗堰)	Ⅲ		
401	利根川水系	利根川(布川)	Ⅱ	343	淀川水系	木津川(御幸橋)	Ⅱ	③	
356	利根川水系	渡良瀬川(渡良瀬大橋)	Ⅱ	258	北川水系	北川(高塚)	Ⅲ		
289	利根川水系	鬼怒川(川島橋)	Ⅲ	223	揖保川水系	揖保川(上河原)	Ⅳ	④	
254	富士川水系	富士川(富士川橋)	Ⅱ	175	紀の川水系	紀の川(船戸)	Ⅳ		
160	久慈川水系	久慈川(榊橋)	Ⅲ	99	由良川水系	由良川(波美橋)	Ⅲ		
158	那珂川水系	那珂川(下国井)	Ⅲ	99	円山川水系	円山川(立野)	Ⅲ		
					31	新宮川水系	新宮川(熊野大橋)	Ⅰ	

中国地方					
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図 類 型	人口 密度 区分	
362	芦田川水系	芦田川(山手橋)	IV	②	
260	旭川水系	旭川(桜橋)	I		
170	太田川水系	太田川(致村)	I		
161	高梁川水系	高梁川(霞橋)	III		
140	小瀬川水系	小瀬川(阿国橋)	I		
135	天神川水系	天神川(小田)	III		
134	佐波川水系	佐波川(新橋)	V		
105	千代川水系	千代川(行徳)	I		
85	斐伊川水系	斐伊川(大津)	I		
73	日野川水系	日野川(車尾)	I		
61	吉井川水系	吉井川(永安橋)	I		
53	江の川水系	江の川(川平)	I		④
45	高津川水系	高津川(高角)	I		
四国地方					
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図 類 型	人口 密度 区分	
783	重信川水系	重信川(出合)	IV	②	
256	土器川水系	土器川(丸亀橋)	II		
89	吉野川水系	吉野川(高瀬橋)	I	③	
81	肱川水系	肱川(肱川橋)	I		
49	仁淀川水系	仁淀川(八田)	I		
42	四万十川水系	四万十川(具同)	I		
33	那賀川水系	那賀川(古庄)	I		
31	物部川水系	物部川(山田堰)	I		
九州地方					
人口密度 (人/km ²)	水系名	河川名(基準地点名)	ポリゴン 図 類 型		人口 密度 区分
564	遠賀川水系	遠賀川(日ノ出橋)	IV	②	
482	本明川水系	本明川(旭町)	IV		
447	緑川水系	緑川(上杉堰)	V		
336	六角川水系	六角川(六角橋)	V	③	
270	白川水系	白川(干禅寺)	III		
249	松浦川水系	松浦川(久里橋)	III		
246	筑後川水系	筑後川(瀬ノ下)	III		
235	大分川水系	大分川(府内大橋)	III		
229	肝属川水系	肝属川(俣瀬)	IV		
190	菊池川水系	菊池川(白石)	III		
166	大淀川水系	大淀川(相生橋)	III		
141	川内川水系	川内川(中郷)	I		
133	矢部川水系	矢部川(瀬高)	I		
129	大野川水系	大野川(白滝橋)	III		
111	嘉瀬川水系	嘉瀬川(徳万堰)	I		
66	球磨川水系	球磨川(荻原)	III		
48	山国川水系	山国川(下唐原)	I		④
42	五ヶ瀬川水系	五ヶ瀬川(三輪)	I		
37	番匠川水系	番匠川(番匠橋)	I		
12	小丸川水系	小丸川(高城橋)	I		

ポリゴンと河川流域の類型化の全国一級河川への適用結果を示した。この結果を参考として、各流域で適切な流域計画が検討されることが望まれる。

今回は、各一級河川の最下流の水質、流量観測地点について検討を行ったが、今後、さらに具体的に流域の状況を把握し、的確な地域計画を立案するためには、河川の上、中、下流部および支川等の各小流域についても検討されることが望ましい。

また、今回の水質ポリゴン図においては、各指標の全国単純平均値からの乖離を表現したが、今後は望ましい流域のあり方を求めるため、各指標の理想値を基準値としたポリゴン図を作成する必要がある。

その外、今回は、1人1日当たりBOD排出負荷量を30g、下水処理によるBOD負荷量の除去率を0.8とするなど、できるだけ単純、かつ大胆な考え方を採ったが、今後は実際の現象をできるだけ正確に表現できるように、各指標の取り方や量的な精度の向上を図る必要がある。

さらに、今後、他の指標(水量については渇水流量、水質については窒素、リンなど)についても検討を進め、健全で恵み豊かな環境の維持と国土の均衡ある発展に資することとしたい。

人と自然との良好な関係の構築に向け、様々な現象をいろいろな指標でとらえ、地域のあり方等をみる習慣を身につけることが求められており、その一助になれば幸いである。今後、いろいろな指標が世に示され、これを参考にしていろいろな分野の地域計画に反映されることが望まれる。

参考文献

- 1) 吉川秀夫・斎藤正勝(1995): 河川水質と流域人口、河川環境総合研究所報告第1号
- 2) 日本河川水質年鑑: 建設省河川局監修、(株)日本河川協会編、山海堂
- 3) 流量年表: 建設省河川局編、(株)日本河川協会
- 4) 住民基本台帳にもとづく全国人口・世帯数表: 自治省行政局
- 5) 国勢調査報告第1巻 人口総数: 総務庁統計局
- 6) 公共下水道統計: (株)日本下水道協会
- 7) 下水道統計行政編: (株)日本下水道協会

6. 今後の課題

本稿では、河川流域という視点から、河川流域人口と河川の水量、水質(BOD)との関係をできるだけ単純化してとらえるための一つの試みとして、河川水質

感潮河川の水質特性(1) —水環境管理を目指して—

布村 明彦*・吉川 秀夫**・柴田 正和***

1. はじめに

潮汐による流量に比べて河川固有の流量が小さい、感潮河川の水質問題についての研究は古くから行われており^{1)~13)}、特に六角川では懸濁物質と底泥の挙動に着目した研究がある^{14)~17)}。しかし、各種の水質項目についての総合的な現地連続観測に基づく研究は実施されていなかった。

建設省では、荒川下流部の水環境のメカニズムを明らかにすることを目的として、平成6年11月(大潮)、12月(小潮)及び平成7年8月(大潮)に、約20の河川基準地点と支川流入水門において、24時間連続の総合水理水質観測を実施した。^{18)~19)} 本観測では、必

要に応じて1ないし3時間間隔で、水位、流量、水質(DO, BOD, D-BOD, COD, D-COD, SS, TN, TP, TOC, 塩素イオンの各濃度)を測定した。なお、調査地点は図1・1に●印で示している。

本報では、これら3回の観測結果等を用いて、河川感潮域の水環境管理の方策のための検討を行う。感潮河川の水質汚濁の主因は、本川上流および域内の支川からの汚濁負荷である。また、河川区間内の水質濃度の時間変化を支配するのは、一義的には固有流量および潮汐に起因する移流効果であり、その原因である流量の把握が重要になる。

なお、昭和57年から平成4年までの11年間、毎年2月および8月に、笹目橋、堀切橋、葛西橋で通日の水

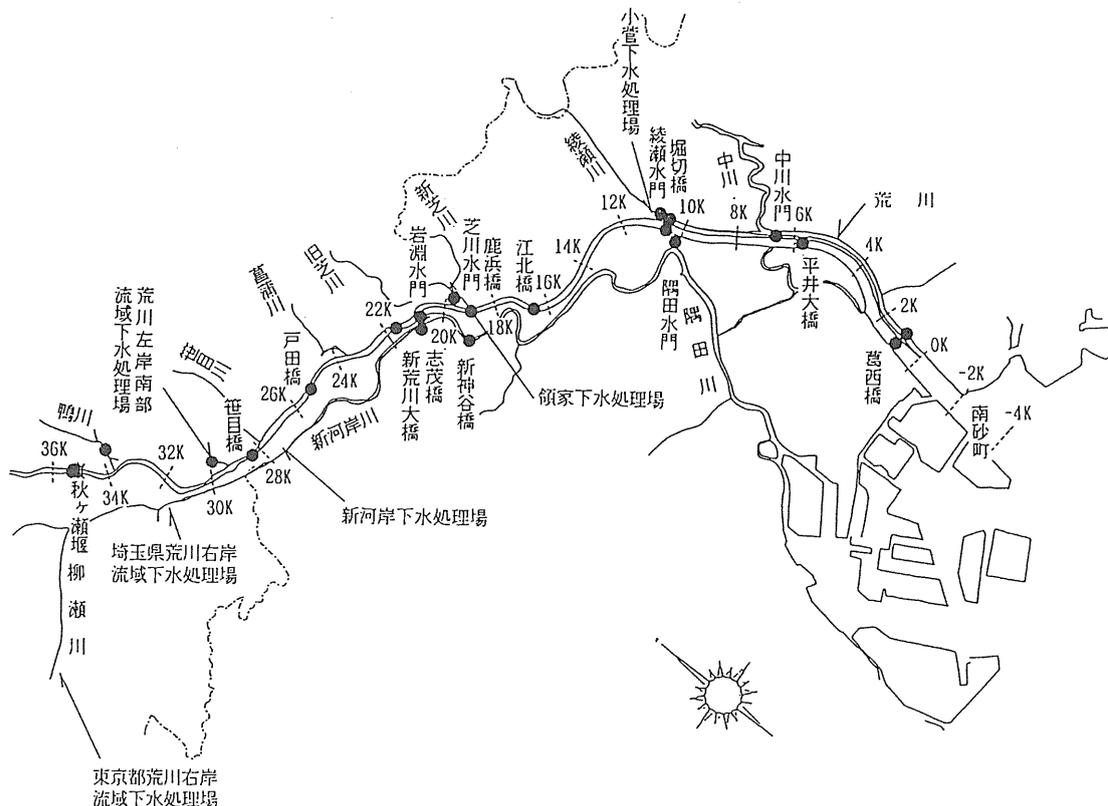


図1・1 荒川下流部平面図と調査地点

* 布村 明彦 建設省関東地方建設局 企画部 企画調査官 (前 荒川下流工事事務所長)
 ** 吉川 秀夫 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長
 *** 柴田 正和 Ph.D. 応用数理解析

質調査を実施し、DO, BOD, COD, TOC, SS, 塩素イオンの各濃度を測定している。新荒川大橋においても、昭和57年から昭和61年までの5年間、同様の測定をしている。これら資料も適宜使用して、荒川下流部の水質の実態を明らかにしようとする。

本報では、さらに、潮汐に起因する本質的に非定常な感潮河川の水理・水質現象を、その平均値とそれからの標準偏差を用いて平易に把らえることを提案する。そのために、潮汐の周期にわたって平均した、河川固有流量と水質の平均フラックスに照準をあてて検討することとする。

なお、塩水楔等の成層現象についてはここではふれない。

2. 水位による流量の推定

河川流量を測定するためには、その地点の河川断面内の、水深及び横断方向の両方に数点測点を取り、人手を介することが必要となる。航路となるような測点に、長時間、流速の自動計測装置を設置することはできないし、橋脚などに設置した流速計だけでは、河川断面の精度よい平均流速を得ることは困難だからで

ある。一方、水位は自動計測装置により、精度よく測定することができる。

そのため、流量の測定をするには経費が非常に高くなるので、流量の測定資料も少ない。もし、なんらかの方法で、膨大な水位の測定資料から流量を推定することができれば、実質的な流量資料の量は飛躍的に増加し、また、今後、高い経費をかけて流量測定を実施する必要もなくなることになる。

以下では、各地点の水位と流量の同時刻資料の関係を調べることにより、水位の測定資料から流量を推定する可能性を探ることとする。

2.1 水位変化率と流量の同時刻相関

図2・1～2・3は、荒川下流部の代表地点の水位変化率 $\partial h/\partial t$ (横軸, m/hr) と流量 (縦軸, m^3/s) の同時刻資料の時系列を表すX-Yグラフである。わずかな支川流入量を無視すると、連続の式により、水位変化率 ($\partial h/\partial t$) は流量の縦断方向微分 $\partial Q/\partial x$, すなわち貯留量に比例し、河道幅 b に反比例することがわかる。

$$b\partial h/\partial t = -\partial Q/\partial x \quad (2 \cdot 1)$$

平成6年11月、12月の各地点の資料では、水位変

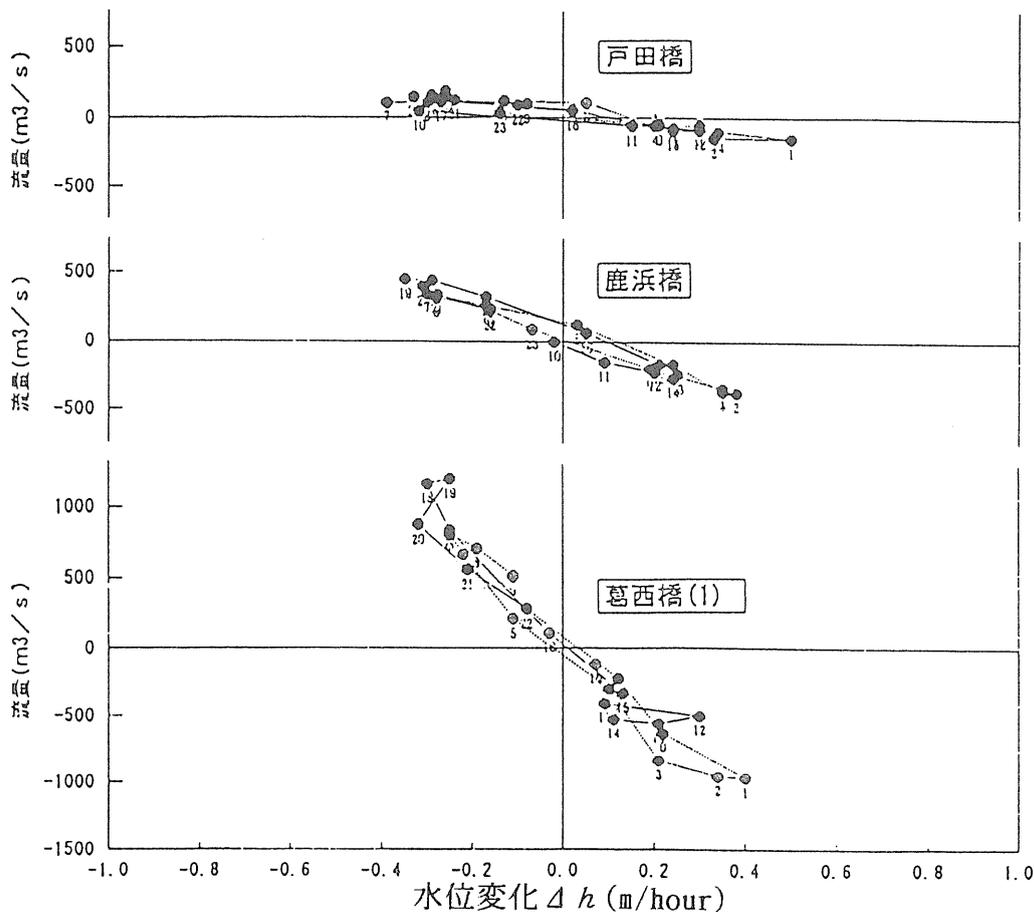


図2・1 水位変化率 $\partial h/\partial t$ と流量の同時刻資料の時系列 (平成6年11月)

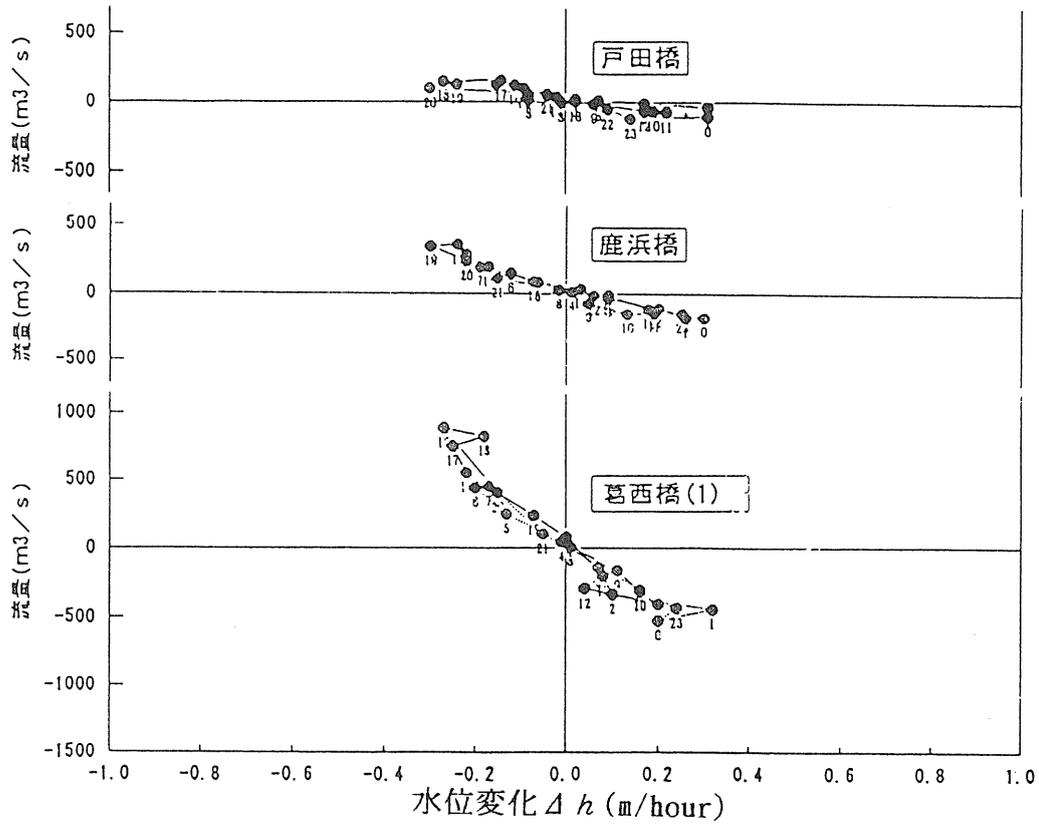


図2・2 水位変化率 $\partial h / \partial t$ と流量の同時刻資料の時系列 (平成6年12月)

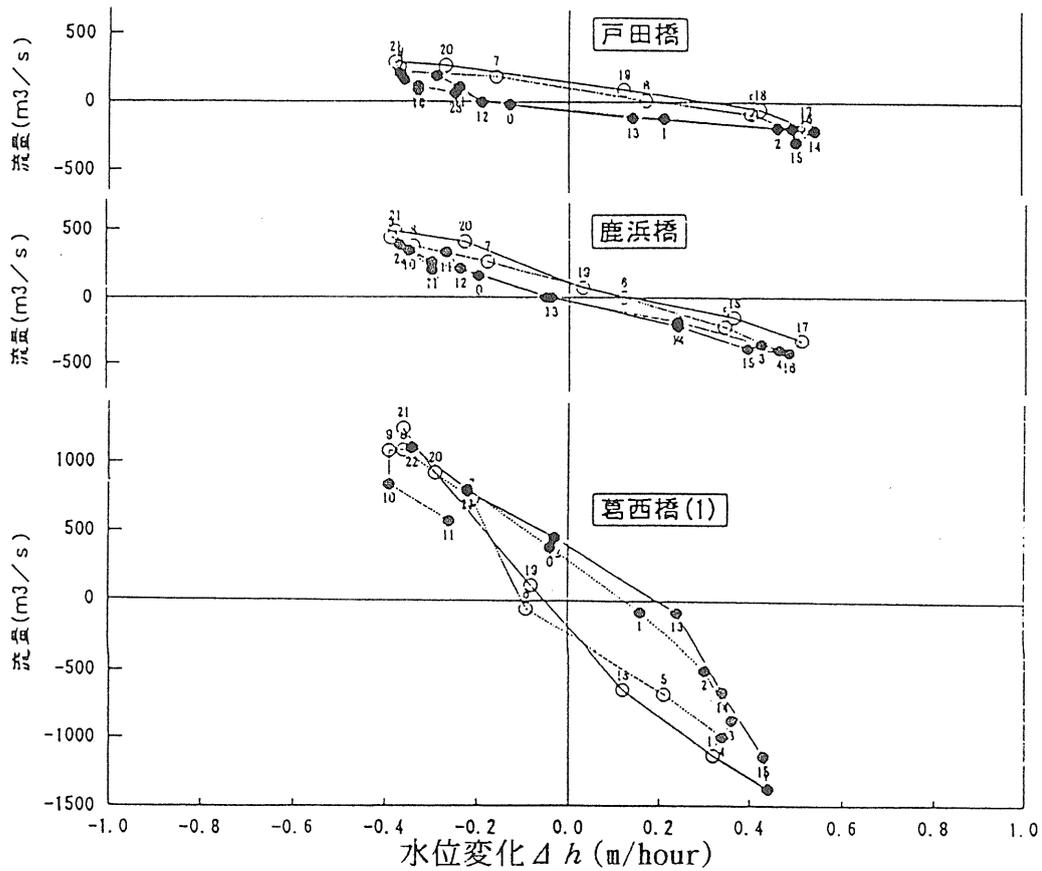


図2・3 水位変化率 $\partial h / \partial t$ と流量の同時刻資料の時系列 (平成7年8月)

化率と流量 Q の間に、ほぼ直線相関とみなせる、かなりよい一対一対応が見られる。このことは、貯留量 $\partial Q/\partial x$ と流量 Q の間に、かなりよい一対一対応が見られることを意味する。

いま、式 (2・1) を x から $x+\Delta x$ の区間にわたって積分すると、

$$b\Delta x\partial h/\partial t = -(Q(x+\Delta x)-Q(x)) \quad (2\cdot 2)$$

が得られ、地点 x を秋ヶ瀬堰に選ぶと、わずかな放流量を除いて、 $Q(x) = 0$ が成り立つので、式 (2・2) は (2・3) となる。

$$b\Delta x\partial h/\partial t = -Q(x+\Delta x) \quad (2\cdot 3)$$

ここに、式 (2・3) 中の河川幅 b と $\partial h/\partial t$ は、いずれも区間 Δx 内の平均値である。しかし、上流端に近い戸田橋では (図 2・1)、 $\partial h/\partial t$ を Q と同じ端点 $x+\Delta x$ での値を用いても、これらの間により相関が見られる。このことは、戸田橋の $\partial h/\partial t$ がそれより上流区間の $\partial h/\partial t$ をよく代表していることを意味している。

下流へ進むにしたがって、端点 $x+\Delta x$ の値で区間 Δx 全体をよく代表することは無理になるので、 $\partial h/\partial t$ と Q の相関も悪くなる。この状況は、流量の大きい平成 7 年 8 月の資料で顕著である。

別の言い方をすると、平成 7 年 8 月のように 1 周期内における流量及び水位の変化が大きい資料では、同じ水位変化率 $\partial h/\partial t$ を示す場合であっても、高水位のときと低水位のときでは、流量が異なることを意味している。

しかし、例えば、その水位変化率がほぼ零の憩潮時を比較してみてもその傾向自体はまちまちで、鹿浜橋 (図 2・2) では、水位変化率が負から正に変化する干潮時の方が満潮時より流量は小さく、逆に葛西橋 (図 2・3) では、干潮時の方が満潮時より流量が大きくなっている。以上の難点がこの方法にはあるが一般の感潮河川では常時は本川上流および支流川の流出入量は潮汐に起因する各地点の入退潮量に比べて太平洋岸では非常に小さいので感潮河川の水質問題を取り扱うのに十分な精度をもつものと考えてよい。なお、更に正確にする必要がある場合には連続の式を用いて域内に流入、流出する時々刻々の流量を使って算定する必要がある。

2.2 水位と流量の同時刻相関

図 2・4~2・6 は、荒川下流部の代表地点の水位 h (横軸, AP+m) と流量 Q (縦軸, m^3/s) の同時刻資料の時系列を表す X-Y グラフである。

感潮河川ではない、一方向流れの通常の河川では、水位・流量関係がよく使用されている。もし、ある地点の断面内流速がつねに一定であれば、その地点の流量は、(水位から一意的に定まる) 河川断面積に比例する。その断面内流速が、一定ではないまでも、水位の関数として一意的に定まるならば、やはり、その地点の流量は水位から一意的に定まることになる。実際

TODAEASHI

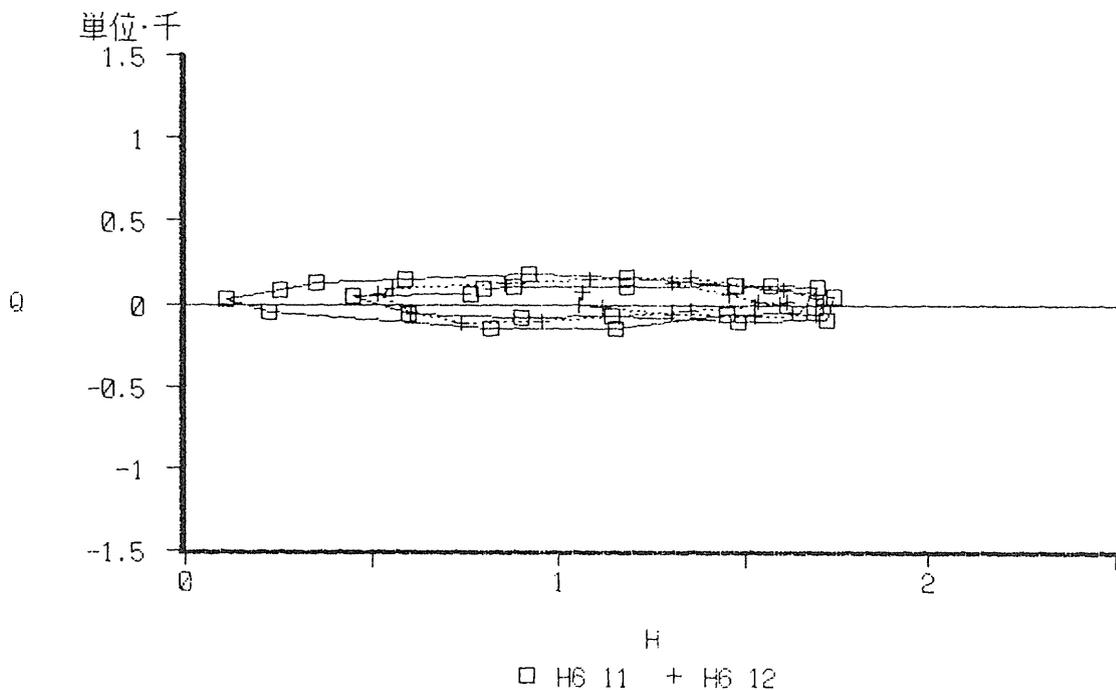


図 2・4 水位と流量の時系列 (戸田橋)

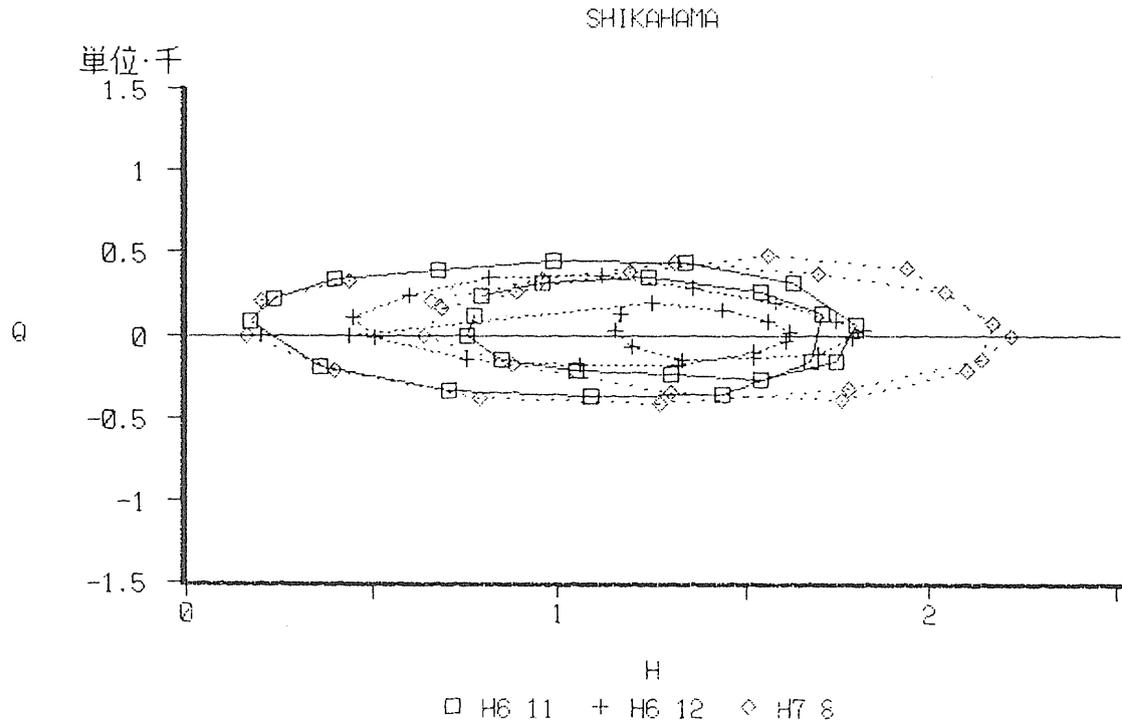


図2・5 水位と流量の時系列 (鹿浜橋)

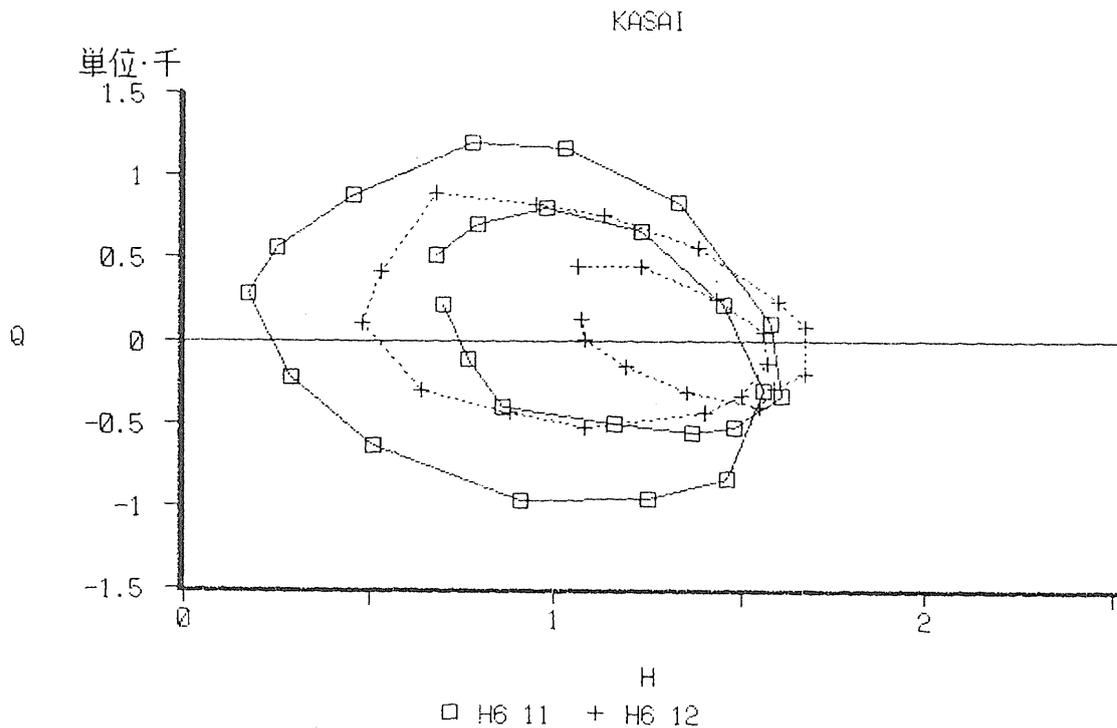


図2・6 水位と流量の時系列 (葛西橋)

には、このような理想的な条件は満たされないが、通常の河川では、この一対一対応の水位・流量関係式がある程度の精度をもって成立している。

さて、感潮河川においては、潮汐の1周期の間に、その地点の最大(極大)水位と最小(極小)水位付近

で、2回、(極大と極小という異なる水位のときに)流量が零となる。水位の極大から極小までの間、順流となり、逆に水位の極小から極大までの間、逆流となるので、水位(横軸)と流量(縦軸)の同時刻資料の時系列を表すX-Yグラフのループは、常に時計回りと

なる。

流量が零となる水位の極大及び極小値は、その（履歴も含んで）時々の潮位に支配され、下流部で流量の振幅が大きくなる。

同一地点での3回の連続観測時系列に対応するループを比較すると、水位の振幅（ループの横幅）と流量の振幅（ループの縦幅）が、ほぼ比例していること、すなわち、同一地点のループはほぼ相似であることが分かる。

また、以下のような見方も可能である。

水位（横軸）と流量（縦軸）の同時刻資料の時系列を表すX-Yグラフの、時計回りループを楕円で近似し、それぞれの振幅を h_0 、 Q_0 とすると、水位 h と流量 Q は、

$$h = h_0 \cdot \operatorname{Re} \{ \exp(-2\pi i t / T) \} \quad (2 \cdot 4)$$

$$Q = Q_0 \cdot \operatorname{Im} \{ \exp(-2\pi i t / T) \} \quad (2 \cdot 5)$$

と表すことができる。ここに、 i は虚数単位、 T は潮汐の周期、 Re と Im はそれぞれ実部と虚部を表す。このとき、水位変化率 $\partial h / \partial t$ は

$$\partial h / \partial t = -2\pi h_0 / T \cdot \operatorname{Im} \{ \exp(-2\pi i t / T) \} \quad (2 \cdot 6)$$

となり、 $\partial h / \partial t$ と Q の位相が一致し、振幅の符号が異なるので、逆相関の直線関係になることが判り、2・1で述べた方法の一つの根拠をあたえるものである。

2.3 水位資料による流量の推定

上流部の各地点では、水位変化率と流量の間により直線相関があるので、流量を水位変化率から推定する方法が有望である。そのためには、直線相関の勾配を決定すると同時に、流量の大きい（大潮）ときの、直線相関からのずれの特徴を検討する必要がある。

一方、下流部の各地点では、水位と流量の時系列のループが、よい相似形をとっているため、流量を水位時系列から推定する方法が簡便法として有望である。

さらに、水位観測点を適切に設け、支派川の各時刻の流出入量を測定するか、或いは、支川の感潮域より上流での水位・流量曲線から支川の固有流量を測定し、これから精度のよい流量資料が得られることを示唆している。水位・時間曲線の精度が上がり、これから精度のよい流量資料を得ることが実現すれば、流れの基礎式の一つである、運動方程式を解く必要がなくなり、連続式のみを用いればよいことになる。

なお、流れの方向が変化する、支川の各時刻の流出入量を測定するためには、上昇気泡のビデオ記録による流量計測法が有力である。

いずれの場合にも、さらに資料の集積を図るととも

に、精度の高い資料だけを選択して解析する必要がある。また、 $\partial h / \partial t$ は(2・3)式より分かるように Q に比べて非常に小さい量であるので水位測定の精度を出来るだけ上げる必要があり、また、 Δx を小さく出来るように水位計の配置を適切にする必要がある。

3. 河川固有流量、水質の平均値及びフラックスによる、河川環境の把握

感潮河川では潮汐による往復流が介在するために、その水理及び水質量の時間変化は、一方向流れの通常の河川に比べて非常に複雑になっている。しかし、いかに複雑な現象であるとしても、それをつねに非定常現象として扱えるしか方法がないのでは甚だ不便である。

まず、潮汐による往復流の影響を除去するために、流量を潮汐の1周期にわたって時間平均して得た河川固有流量を検討する。次に、同じく1周期にわたる、各水質濃度の時間平均値を検討する。

濃度という物理量は水質を直截的に表現するものである。しかし、例えば河川を流下するに従って汚濁物質の濃度が低下して水質が良くなった場合にも、それは直ちに汚濁物質が除去されたことを意味するわけではない。その理由が、単に支川からの汚濁物質濃度の低い「きれいな水」が供給されて薄められる場合には、汚濁物質の総量は減少していないということもありうるわけである。即ち、水質変化の機構、特に汚濁物質の流入を明確にするためには、その水質項目の流入総量である負荷量、あるいは通過フラックスを把握することが重要になる。

それゆえ、各水質濃度の時間平均フラックスとその横流入量である支川負荷量を検討し、感潮域での水質変化のメカニズムを明らかにしようとする。

3.1 河川固有流量

河川の各地点の水位がほぼ元の高さに戻る、24時間の平均流量を河川固有流量と考える。まず、毎正時の観測流量から24時間の平均流量を算出したが、このままの数値では観測誤差が避けられないので、次に24時間の河道内貯留量の変化と支川流入量とを考慮しつつ上流からの累積固有流量を算出し、これと比較検討することによって河川固有流量を決定した。その結果の一例、平成6年11月（大潮）を図3・1に示す。これと12月（小潮）、7年8月（大潮）を加えて折れ線グラフで表したものが、図3・2である。

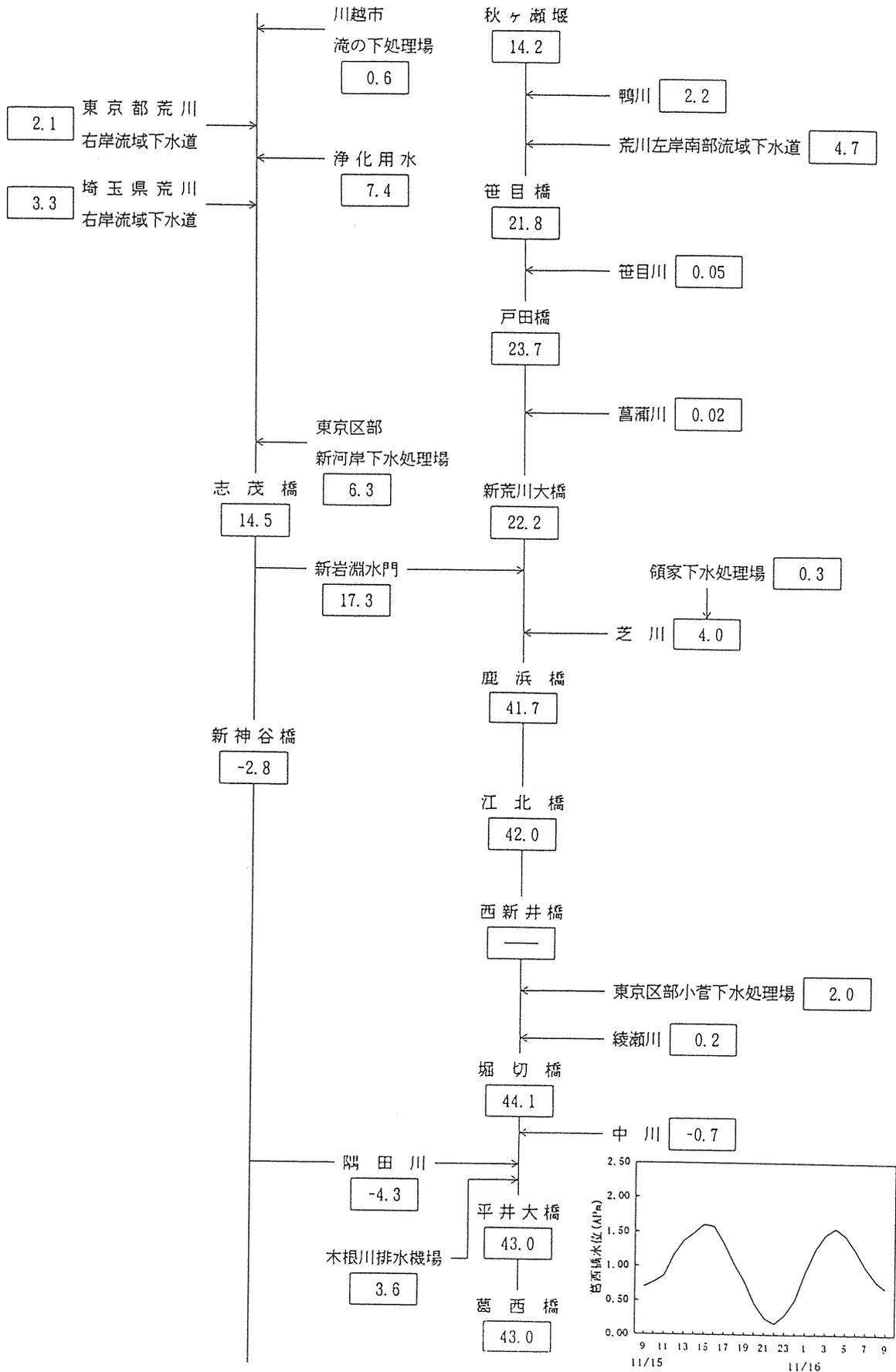


図3・1 河川固有流量の縦断分布 (H6/11)

- ◆ H6. 11. 17.3 m³/s
- H6. 12. 12.9
- ▲ H7. 8. 14.5

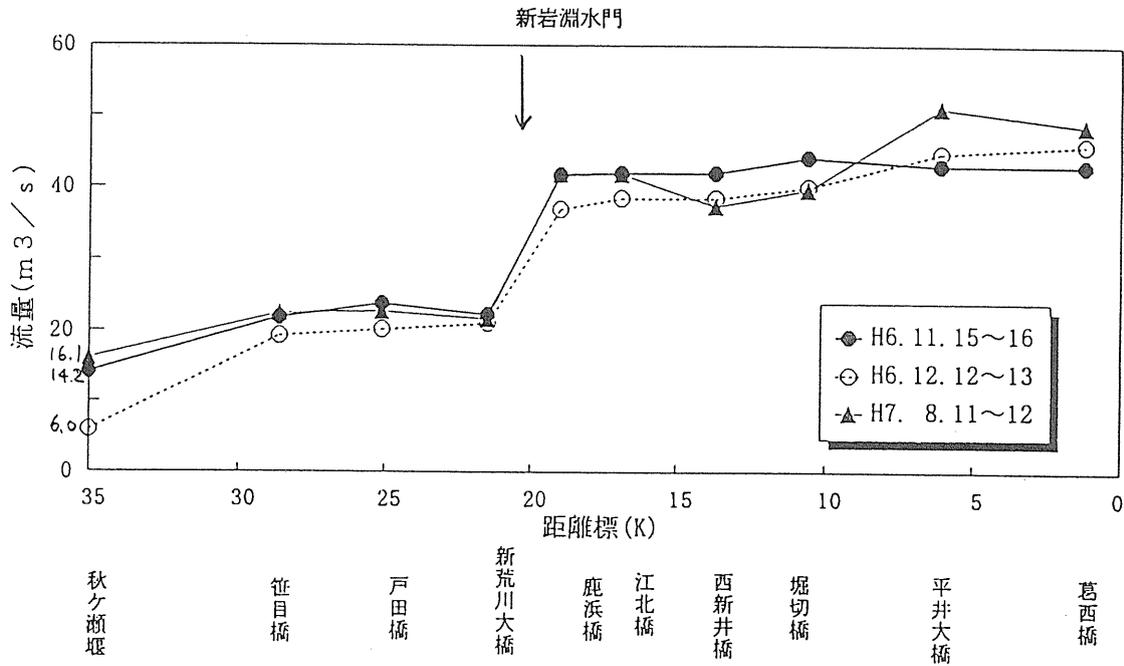


図3・2 河川固有流量の縦断分布

河川固有流量は秋ヶ瀬堰の放流量に支川からの流入量に加わって漸次増加していくが、途中、支川流出入水門での水収支がマイナス（支川への流入超過）となる場合には河川固有流量が減少する。図3・1、3・2より、荒川下流感潮部では秋ヶ瀬堰の下流への放流量と、それに匹敵する新岩淵水門を通じて新河岸川、隅田川から荒川に流入する固有流量が支配的であることが知られる。新岩淵水門から荒川への流入は、主として荒川本川と隅田川との潮汐（水位変動）の位相差によるものであり、また、秋ヶ瀬堰から新河岸川への浄化用水の導入も一因であると考えられる。今回の測定以外には新岩淵水門通過流量の精度よい測定がないので、現段階ではこれらの原因に関して深く検討することはできないが、今後あらたな観測結果の集積をまって、さらに検討することが望ましい。

また、葛西橋では潮汐による順逆流のピーク流量は大潮で1,000m³/sにも達するが、河川固有流量は40m³/s台であることが知られる。なお、平成7年8月の下流部、平井大橋と葛西橋の50m³/s台の値は、過大評価である可能性がある。

河道のいくつかの地点に浮子または染料のようなトレーサーを配置して、それらが観測された河道断面平均流速で移動した場合の軌跡の一例を図3・3に示す。

図中の星印は高濃度のSSが観測された地点・時刻であり、その位置が概ね断面平均流速で移動しているように見える。

また、図中の点線は、図3・1の河川固有流量を河川断面積で除した（定常）流速でトレーサーが移動した場合の軌跡である。各時刻の観測流速で移動するトレーサー（実線のカーブ）は潮汐流により往復を繰り返しながら次第に下流へ向かってゆくが、平均的には河川固有流量で移動するトレーサー（点線の直線）と同じペースで下流へ向かってゆくことが分かる。

観測期間中の潮汐及び流速が同様に繰り返した場合に、トレーサーが河道断面平均流速で移動した場合の軌跡の一例を図3・4に示す。これによると、平成7年8月の場合には秋ヶ瀬堰から河口までの移動所要日数は、約7日であることが分かる。

3.2 水質濃度の平均値

一般に、河川各地点の水質管理の指標は各水質項目の濃度であるが、感潮河川ではそれらは時間的、場所的に常に変動している。その中で、後述するように、水質濃度の平均値と各地点での変動幅はもっとも重要なものである。

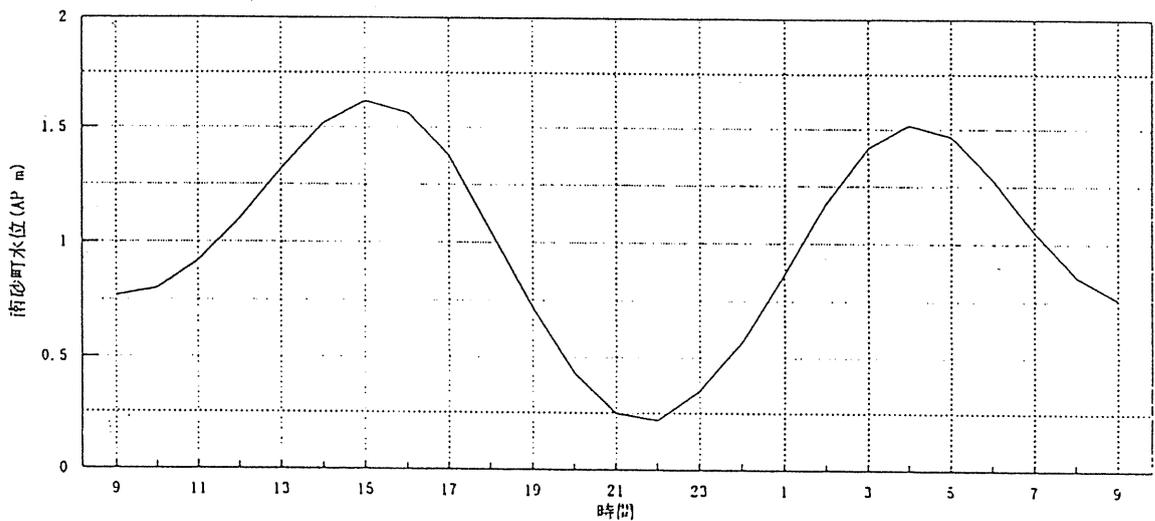
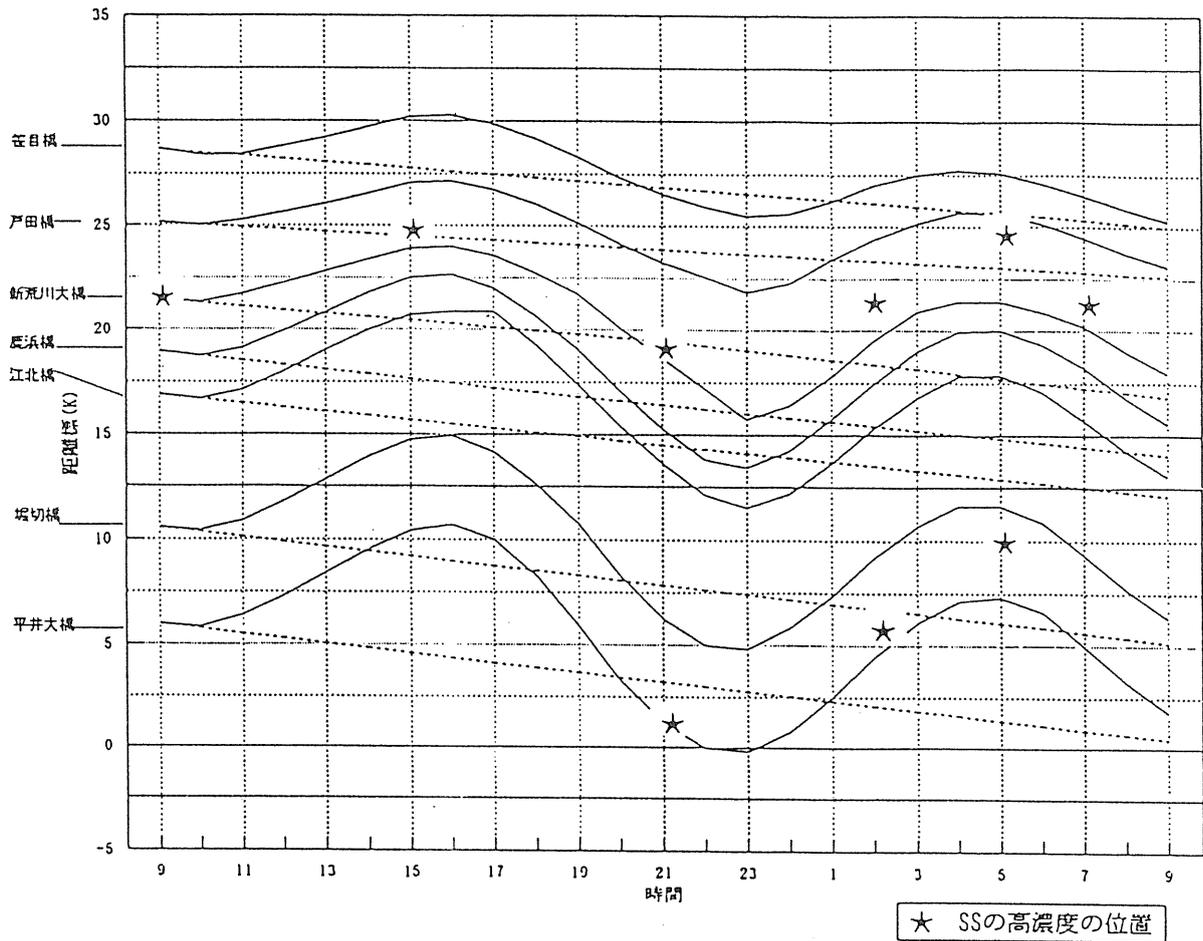


図3・3 トレイサーの軌跡 (H6/11)

3回の一斉調査における、各地点の各水質項目の観測値時系列の平均値 M 、標準偏差 σ とその比 σ/M を算出した。本報では、一例として平成6年11月の結果を表3・1に示す。これらから以下の結論をうることができた。

DO濃度は、最上流の笹目橋または戸田橋と最下流の葛西橋で高く、中流部の鹿浜橋から堀切橋で極小値

をとっている。これは、最上流の秋ヶ瀬堰放流水及び荒川左岸南部流域下水道処理水のDO濃度、そして海水のDO濃度が高いためである。

BOD濃度は、荒川左岸南部流域下水道の処理水の影響のために最上流の笹目橋または戸田橋で高く、これが流下とともに分解されて下がったあと、再び、高濃度のBODをもつ新河岸川及び芝川など流入支川の

影響のため中流部の江北橋から西新井橋で極大値をとっている。

COD濃度は、夏季には縦断方向にほぼ均一であったが、冬季には新岩淵水門からの負荷の影響のため、

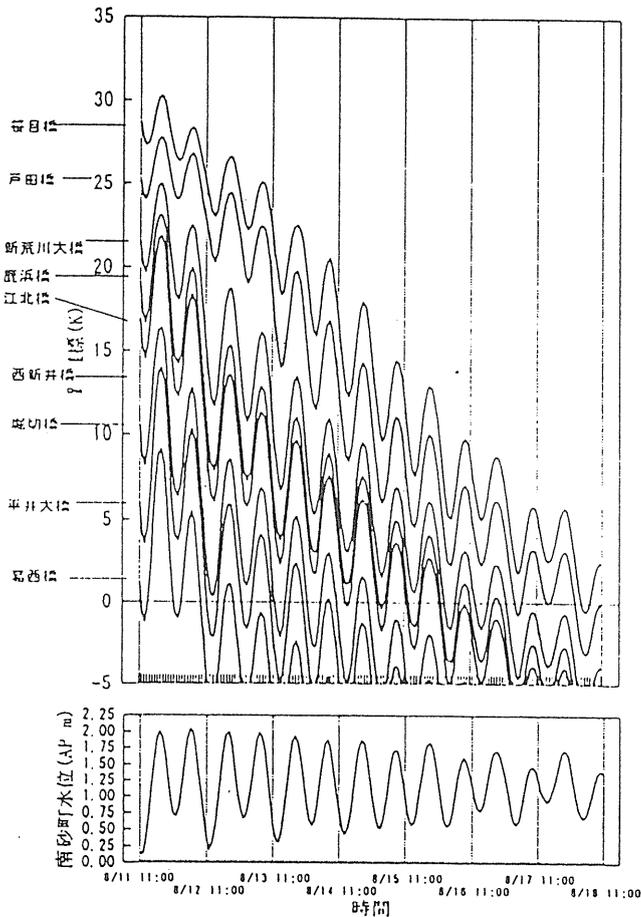


図3・4 トレイサーの軌跡 (H7/8: 継続させたもの)

新荒川大橋ないし鹿浜橋で大きな値を観測している。

BOD, COD濃度ともに、海水の方が河川水よりも低い値をもつので、平井大橋及び葛西橋では低濃度を示している。

SS濃度は、大潮時の下流部（平井大橋、葛西橋）で大きい。これは流速が大きくなったときに、底質が巻き上げられたものと考えられる。

D-BOD, D-COD濃度は、下流に向かって若干減少傾向がある程度で、荒川下流全区間にわたって変化がごく小さい。すなわち、BOD, COD濃度の変化は、主としてP-BOD, P-COD濃度の変化に支配されていることになる。また、T-N, T-P濃度の変化の傾向は、BOD, COD濃度の変化の傾向とほぼ同じである。

なお、荒川下流部では毎年2, 8月に笹目橋, 新荒川大橋, 堀切橋, 葛西橋で通日調査を実施している。昭和57年から平成4年までの11年間, 22回(新荒川大橋だけは, 昭和57年から昭和61年までの5年間, 10回)の観測資料をもとに, DO, BOD, CODの平均値をまとめたのが表3・2である。この通日調査の結果も, 定性的には3回の一斉調査と符合したものとなっている。

DO濃度の高い「きれいな」水が供給される上流端と河口部では, 2, 8月ともにDO濃度は高く, しかも2月が8月より高く(笹目橋で約1.2倍)なっている。また, 汚れた水を浄化するのにDOが消費される中流部ではDO濃度が低くなっている。DO濃度への小出水の影響はほとんどない。

BOD濃度は, 2月が8月よりはっきりと高く(笹目

表3・1 (A) 測定地点別水質統計 (平成6年11月15日9時-16日9時)

(単位: mg/l)

地点	DO			BOD			COD			SS		
	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M
笹目橋	7.4	.37	.050	3.4	1.1	.33	5.0	.93	.19	13.0	4.28	.33
戸田橋	6.5	.57	.088	2.6	.81	.31	5.6	.57	.10	15.8	5.48	.35
新荒川大橋	5.3	.81	.150	1.2	.30	.25	6.2	.66	.11	15.9	6.34	.40
鹿浜橋	3.9	.44	.113	1.3	.28	.22	8.3	1.00	.12	16.6	6.02	.36
江北橋	5.3	.31	.059	2.3	.15	.07	5.9	.41	.07	13.7	2.15	.16
堀切橋	4.9	.39	.080	2.1	.44	.21	6.2	.59	.09	17.1	6.56	.38
平井大橋	5.1	.61	.120	1.6	.25	.16	5.4	.86	.16	23.2	14.4	.62
葛西橋	5.5	.89	.160	1.2	.36	.31	5.3	1.15	.22	20.7	7.88	.38
新岩淵水門	5.9	.54	.09	3.0	1.8	.61	9.0	1.2	.13	20.7	5.8	.28
志茂橋	6.7	.62	.09	11.3	3.2	.29	8.2	.84	.10	25.1	13.8	.55
新神谷橋	5.8	.39	.07	9.9	2.6	.26	7.9	.62	.08	25.8	6.9	.27

表 3・1 (B) 測定地点別水質統計 (平成 6 年11月15日 9 時 - 16日 9 時)

(単位: mg/ℓ)

地 点	D - B O D			D - C O D			T - N			T - P		
	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M
笹目橋	2.0	.54	.26	4.2	.68	.16	5.1	.39	.08	.22	.02	.08
戸田橋	1.8	.25	.14	5.1	.39	.08	6.5	.52	.08	.27	.04	.15
新荒川大橋	.7	.11	.14	3.9	.42	.11	6.9	.46	.07	.33	.05	.14
鹿浜橋	.8	.08	.11	5.7	.59	.10	7.6	.45	.06	.39	.11	.28
江北橋	1.7	.31	.18	5.3	.13	.02	7.1	.64	.09	.42	.02	.05
堀切橋	1.8	.30	.16	5.3	.40	.08	6.2	.80	.13	.44	.08	.17
平井大橋	1.2	.23	.19	4.6	.31	.07	5.2	.81	.16	.34	.04	.13
葛西橋	.6	.35	.57	3.5	2.1	.60	4.0	1.48	.37	.27	.13	.48
新岩淵水門	1.0	.20	.21	6.0	1.2	.21	10.3	.56	.05	.65	.06	.09
志茂橋	1.1	.18	.17	5.9	.52	.09	12.9	1.25	.10	.85	.16	.19
新神谷橋	.8	.16	.19	5.9	.52	.09	12.8	1.32	.10	.78	.07	.09

表 3・1 (C) 測定地点別水質統計 (平成 6 年11月15日 9 時 - 16日 9 時)

(単位: mg/ℓ)

地 点	濁 度			T O C								
	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M	M	σ	σ/M
笹目橋	13.1	2.6	.20	3.5	.50	.14						
戸田橋	13.0	2.0	.15	3.1	.38	.12						
新荒川大橋	8.3	2.3	.27	11.1	.54	.05						
鹿浜橋	8.9	2.1	.24	4.9	.40	.08						
江北橋	11.9	1.3	.11	3.6	.22	.06						
堀切橋	12.7	3.6	.28	4.0	.55	.14						
平井大橋	14.8	6.4	.43	3.5	.57	.16						
葛西橋	10.6	3.2	.30	4.1	1.13	.28						
新岩淵水門	10.5	1.5	.14	12.0	.75	.06						
志茂橋	8.5	2.3	.27	5.3	.55	.10						
新神谷橋	12.4	3.2	.26	6.1	.54	.09						

表 3・2 通日調査による水質濃度平均値

水質濃度平均値 (ppm)	笹目橋	新荒川大橋	堀切橋	葛西橋
DO 全体	7.6	5.1	4.0	6.1
DO 2月	8.5	4.8	4.0	6.9
DO 8月	6.7	5.5	4.1	5.3
BOD全体	5.0	4.6	4.7	2.8
BOD 2月	7.3	6.9	7.1	3.5
BOD 8月	2.8	1.8	2.3	2.1
COD全体	7.1	8.5	8.7	6.6
COD 2月	8.7	10.6	10.5	6.0
COD 8月	5.2	5.9	6.9	7.3

表 3・3 流下に伴う水質平均濃度の変化

	笹目橋・堀切橋			堀切橋・葛西橋			秋ヶ瀬放流量
	DO	BOD	COD	DO	BOD	COD	
	ppm	〃	〃	〃	〃	〃	m ³ /s
2月	-4.52	-0.29	1.74	3.00	-3.70	-4.60	8.2
8月	-2.59	-0.53	1.38	0.30	-0.45	-1.17	10.4

符号は、下流に向かって増加する場合を正とする。

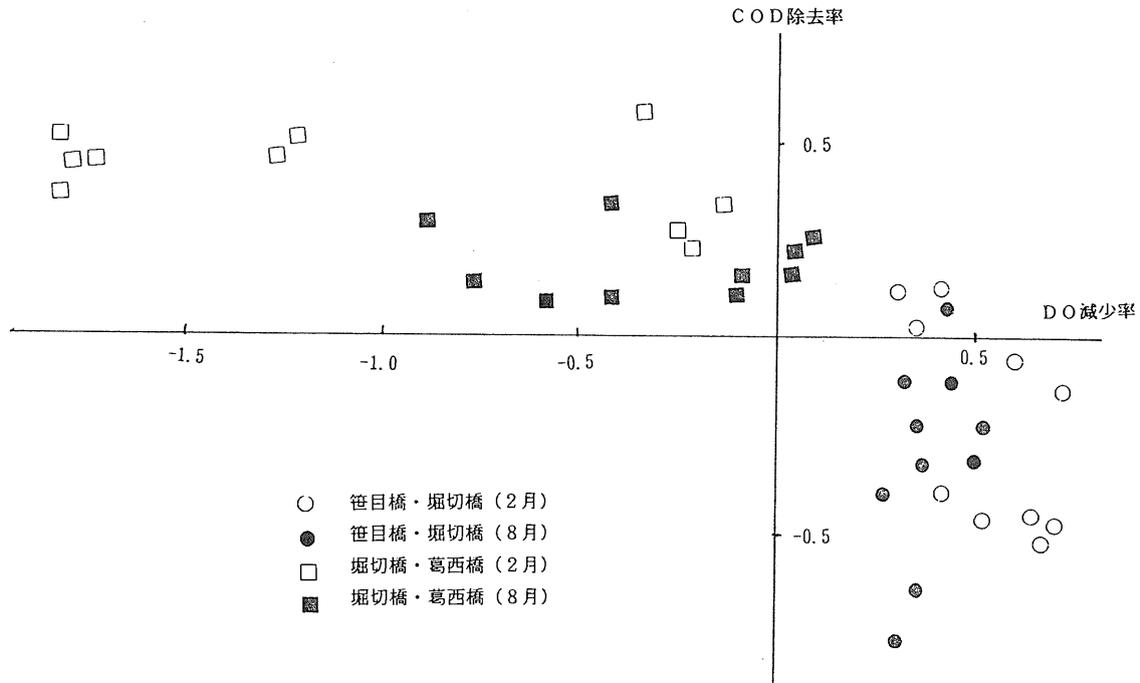


図 3・5 流下に伴う COD 除去率と DO 減少率の相関

橋で約3倍) になっている。冬季の鴨川, 新河岸川, 芝川など支川からの流入 BOD 負荷の増加と河川固有流量の減少によるものである。笹目橋の BOD 濃度は秋ヶ瀬放流量に強く依存しており, 現状では, 秋ヶ瀬放流量約 20 m³/s を確保できれば, 5 ppm 以下に抑えることができる。

COD 濃度は, BOD 濃度ほど顕著ではないが 2 月が 8 月よりはっきりと高く (笹目橋で約 1.7 倍) になっている。しかし, 河口部の葛西橋では 2 月が 8 月より低くなっている。笹目橋の COD 濃度はやはり秋ヶ瀬放流量に強く依存しており, 放流量の増加とともに COD 濃度は減少する。荒川本川の一般的傾向として, COD 濃度は BOD 濃度より大きい。

次に, 笹目橋, 堀切橋, 葛西橋へと流下するにしたがって, 各水質平均濃度がどのように変化しているかを検討する。昭和 57 年から平成 4 年までの 11 年間の資料を, 2 月, 8 月それぞれに平均したものが表 3・3

である。

DO 濃度は, 笹目橋・堀切橋間で常に減少する。その減少量には季節差があり, 2 月は平均 -4.5 mg/l, 8 月は平均 -2.6 mg/l である。一方, 堀切橋・葛西橋間では, 海水流入の影響でほとんどが増加している。増加量は 2 月が 8 月の 10 倍にもなっている。

笹目橋・堀切橋間での, BOD 及び COD 濃度の増減を比べてみると, BOD 濃度は DO 濃度の減少 (消費) に対応して減少しているが, COD 濃度は逆に増加している (図 3・5)。これは, COD は河道内でほとんど分解されることなく, 支川からの流入による増加が大きかったためである。また, BOD 濃度と DO 濃度の減少量の季節差は符合していない。このことは, 流下に伴う平均 BOD 濃度の変化は, DO 消費量だけで定まるのではなく, 8 月には灌漑用水の還元水の流入が増加することなど, 支川流入条件に強く依存していることを示している。これは, 中川など多くの河川で認め

られていることである。

結論として、水質濃度でみるよりも総負荷量で検討する方がより適切であると考え、現状に変化がなければ、表3・3の關係を用いて、簡便なDO濃度予測を行うことができよう。

以上により、水質濃度平均値の大凡の動向を知ることができた。ところで、その支配方程式の示すとおり、水質濃度 c の時間変化は主に流入流出水質フラックス cQ の差によって管理体積内の水質の総量 $cA\Delta x$ (A は河川断面積、 Δx は区間長) が変化した結果として起こる。したがって、水質濃度 c の時間変化を検討するためにはその水質のフラックス cQ を検討するのが、より本質的である。次節で、水質フラックスの時間平均値を検討する。すなわち、潮汐の周期を T とすると水質フラックスの潮汐周期にわたっての平均値

$$\frac{1}{T} \int_T cQ dt$$

を検討する。

標準偏差については後に4章で検討する。

3.3 水質の潮汐周期平均フラックス

秋ヶ瀬堰から葛西橋の35km区間について、DO、BOD、COD、SS、T-N、T-Pの潮汐周期平均フラックスの縦断方向変化を示すのが図3・6(A)~(F)である。

図中で、上流流下負荷量とは、その地点の直上流地点の平均フラックスに、そこから当該地点にいたるまでの支川流入負荷量を加えたものである。また、当地点負荷増減量とは、当該地点平均フラックスから上流流下負荷量を差し引いたものであり、その区間における平均フラックスの移流項以外の効果による変化を表す。負荷増減量累加量とは、当地点負荷増減量を上流から当該地点まで累計したものである。

負荷増減量累加量に注目してみると、以下のことがいえる。

DOでは、再曝気による増加とBODないしCODによる消費の増減両方の効果があるので、負荷増減量累加量は3回の調査で、符号を含めまちまちの値をとっている。

BODでは、冬季に鴨川からの流入負荷量が大きかったため、その回復効果が大きく、負荷増減量累加量は大きな負の値をとっている。

CODでは、冬季にBODの半分程度の値をとっている。平成7年8月に正の値をとっているのは、平井大橋と葛西橋で流量を過大評価していることと関連していると考えられる。SSでは、巻き上げ効果のために、

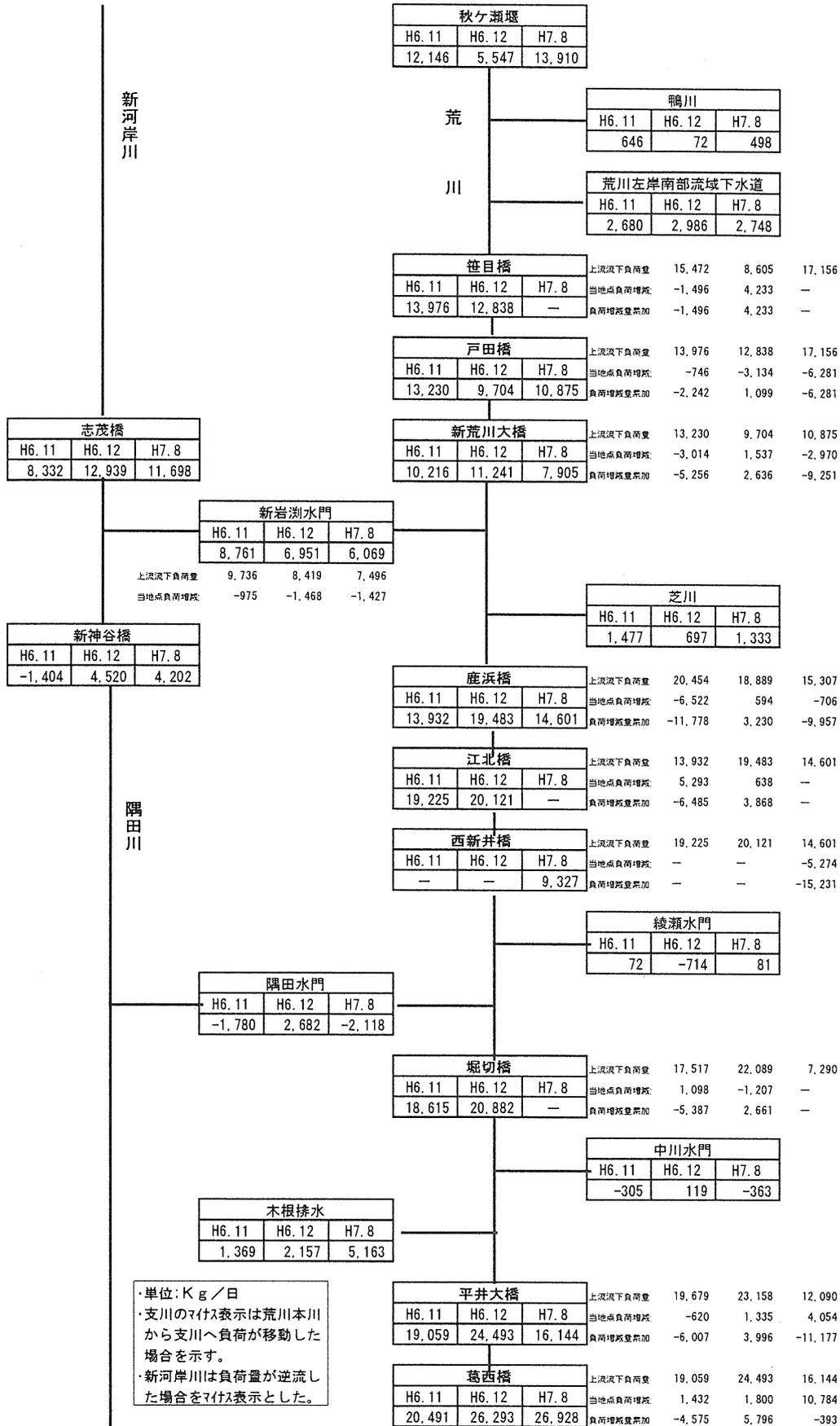
大きな正の値が出ている。

図3・7は、このうちDO、BOD、CODの平均フラックスの縦断方向変化を折れ線グラフで表したものである。平成6年11月(大潮)と12月(小潮)では、潮況が異なるために各時刻の流量は異なるが、その平均フラックスは3種類ともに互いに非常によく似た傾向を示している。このことも、平均フラックスで検討することの有用性を示している。とくに、BODとCODの平均フラックスは定性的によく似た振る舞いを示している。すなわち、秋ヶ瀬堰から笹目橋までは鴨川等の支川からの汚濁負荷の影響でフラックスが増加した後、新荒川大橋までは懸濁物質の沈降等による自然の浄化過程によりフラックスが減少する。実際、笹目橋から下流では沈降によると見られる底質汚泥の堆積が顕著である。新荒川大橋の直下流の新岩淵水門、芝川水門からの高い汚濁負荷により鹿浜橋、江北橋までの間でフラックスは急増する。江北橋から堀切橋まではフラックスの変化は小さいが、河口近くの葛西橋ではBODフラックスは汚濁負荷の小さい海水流入の影響で減少している。観測当日は平水時であったが、出水時には底質の巻き上げが増加するので、下流へゆくに従ってこれよりも汚濁物質のフラックスが増加することになるであろう。

平成7年8月(大潮)では、上流部で同じ大潮の平成6年11月とよく似た振る舞いをみせるが、下流部では、BODとCODの平均フラックスはかなり大きくなり、DOの平均フラックスは逆にかなり小さくなっている。これは、夏季の下流部、特に芝川と木下川排水機場からのBODとCODの流入負荷が大きいためである。

さて、荒川下流部に秋ヶ瀬堰から流入する水質フラックスに、各支川から流出入する水質フラックスを加え(差し引いた)合計の水質負荷を考える。秋ヶ瀬堰から南砂町までは約7日間かかることが分かっている。いま、主な汚濁負荷源は新岩淵水門より上流部に限定されているので、水質負荷の平均滞留日数を6日とし、荒川下流部の水質現象がほぼ定常であると仮定すると、荒川下流部の水質負荷の収支は表3・4になる。

表3・4の一斉調査時には、河川水を採取し、実験室で沈降・分解試験を行って、BOD、CODの減少係数を求めた。その結果は、それぞれ、0.12~0.33/日(BOD)、0.04~0.08/日(COD)であった。荒川下流部ではほとんどの時刻、流下水塊は上下流方向に移動していることに鑑み、上記の全体的な各水質フラックスの減少係数はほぼ妥当なものと判断できる。この減少の主因は、生物による分解と沈殿であると考えられる。



・単位: Kg / 日
 ・支川のマイナス表示は荒川本川から支川へ負荷が移動した場合は示す。
 ・新河岸川は負荷量が逆流した場合をマイナス表示とした。

図3・6 (A) DOフラックスの縦断分布

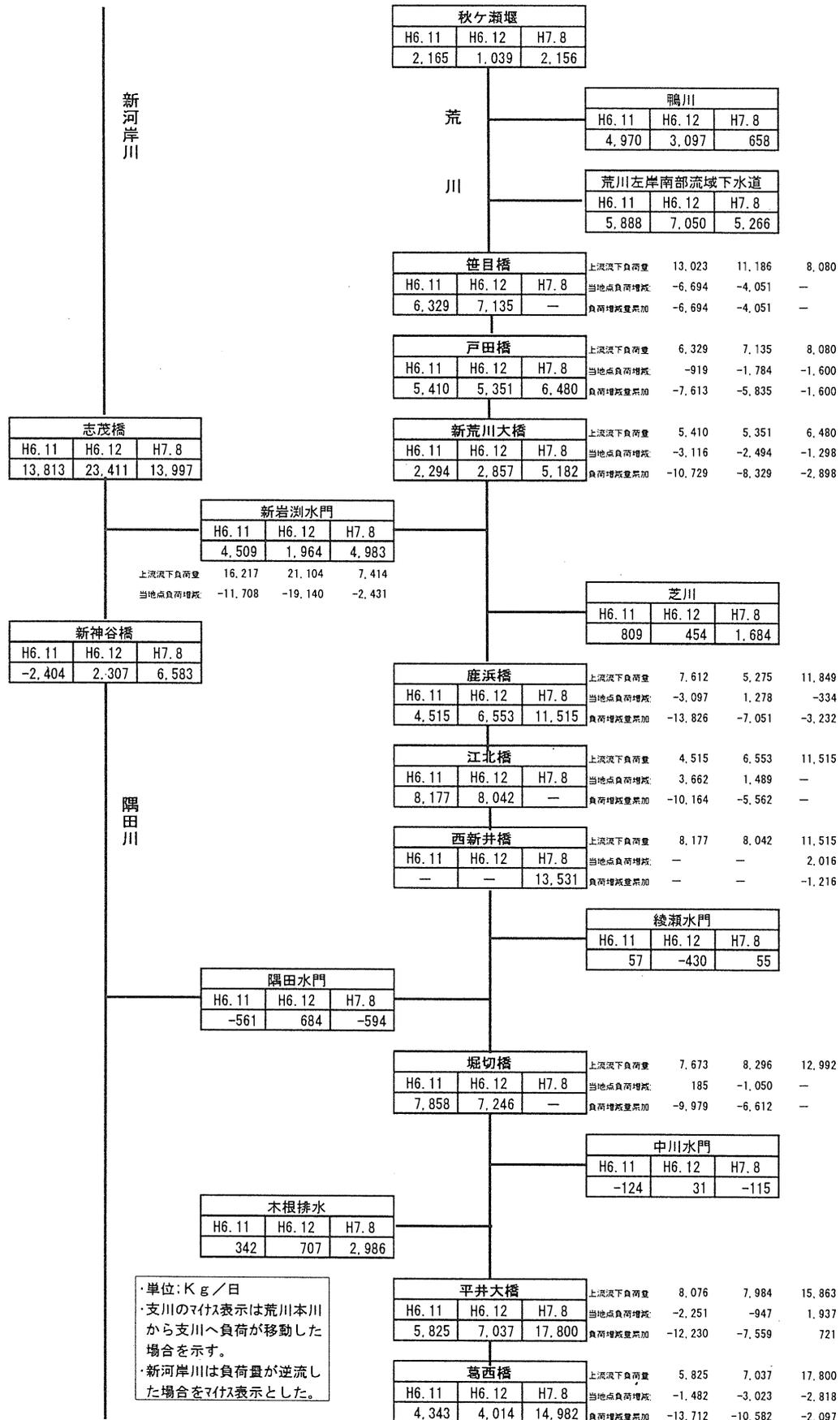


図3・6 (B) BODフラックスの縦断分布

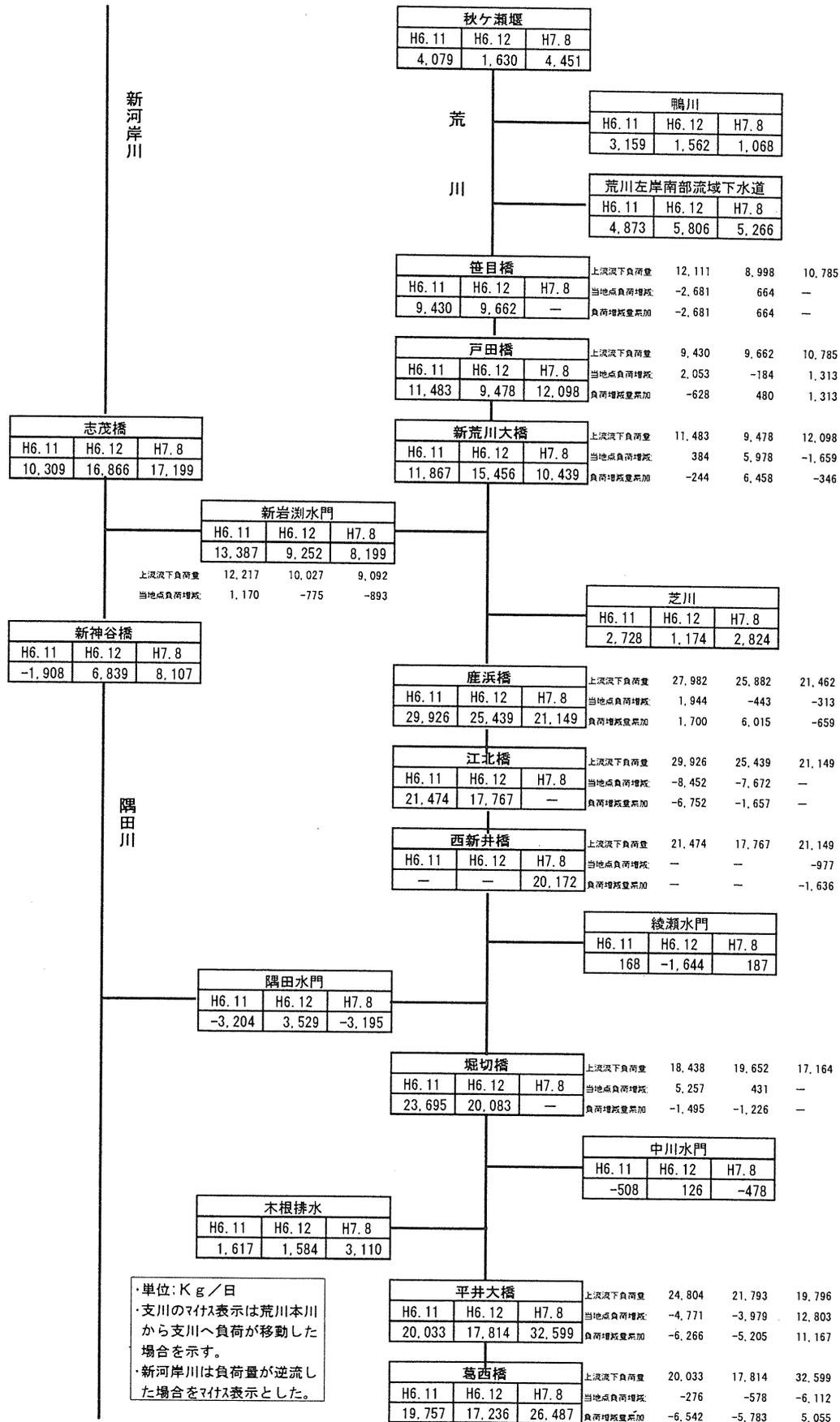


図3・6 (C) CODフラックスの縦断分布

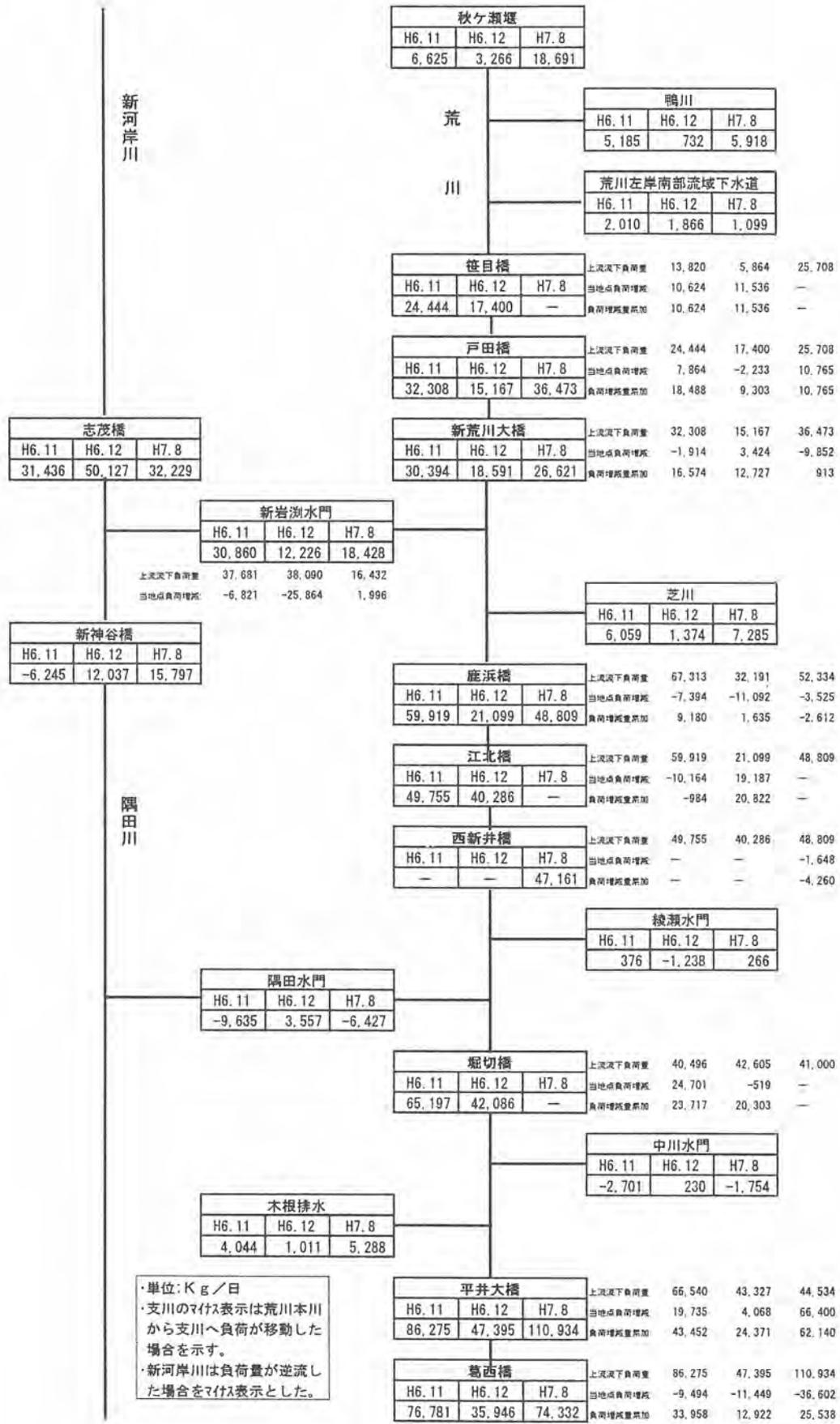


図3・6 (D) SSフラックスの縦断分布

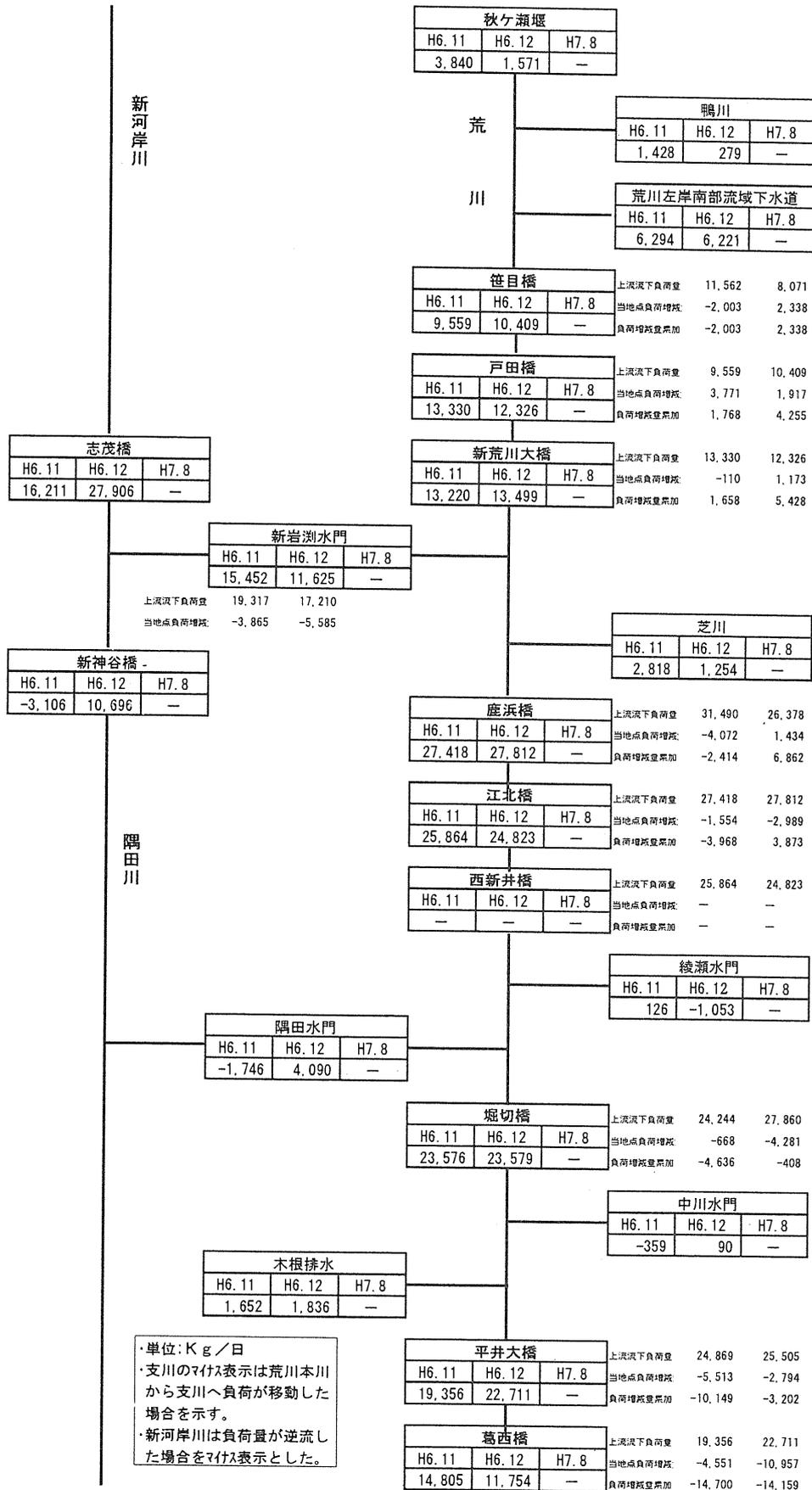


図3・6 (E) T-Nフラックスの縦断分布

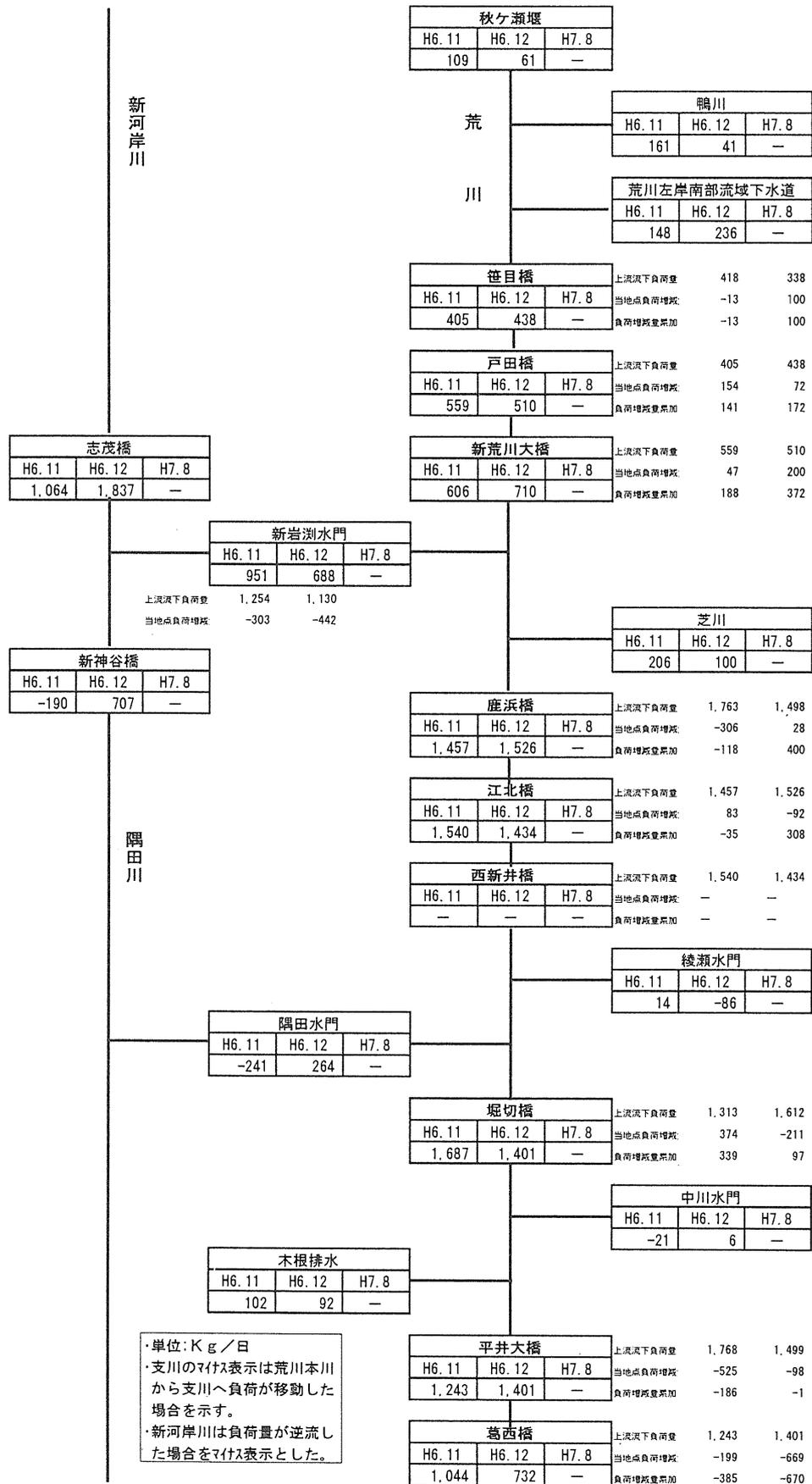


図3・6 (F) T-Pフラックスの縦断分布

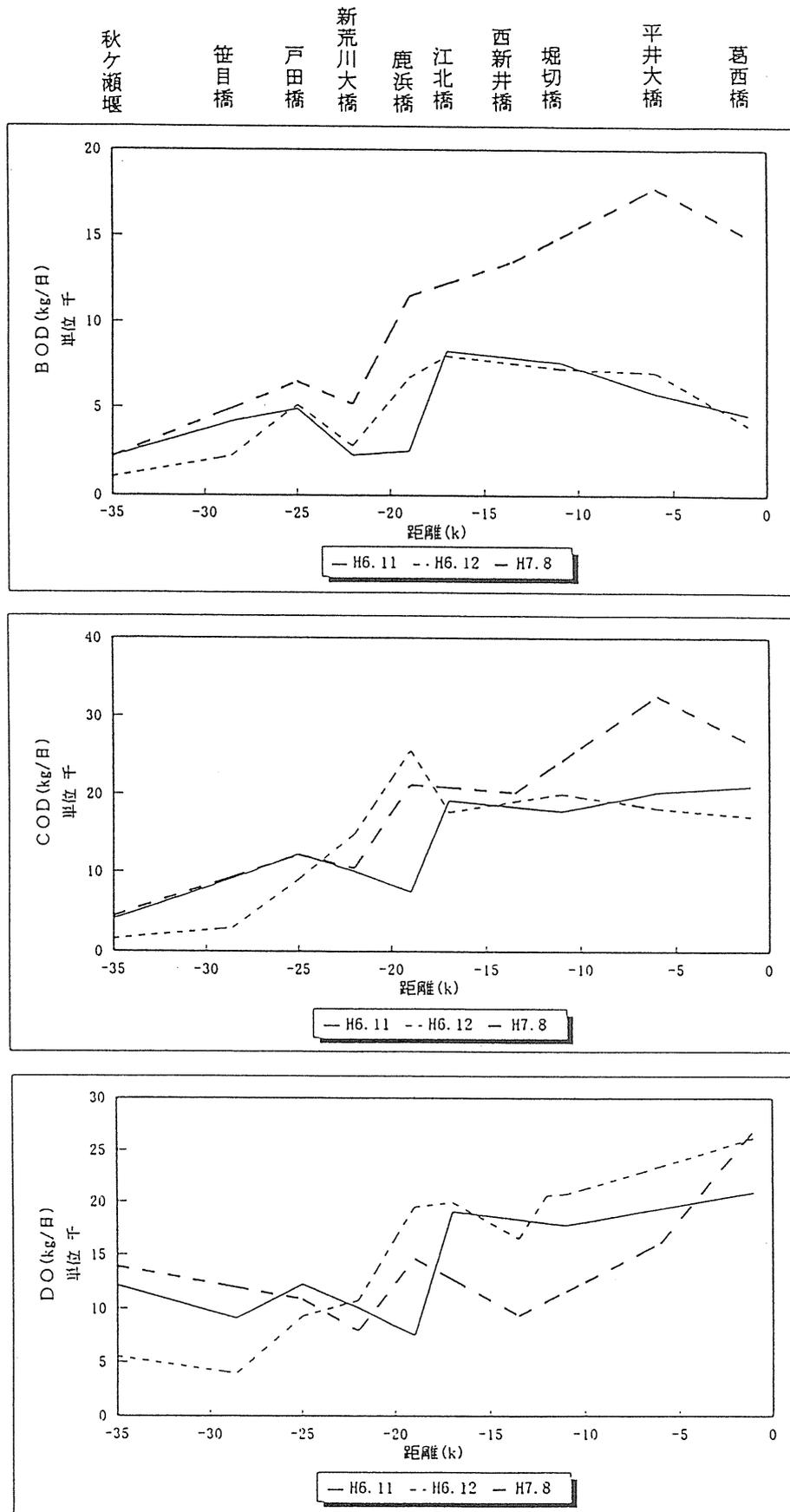


図3・7 DO, BOD, COD フラックスの縦断分布

表3・4 荒川下流部の水質負荷の収支

水質項目	測定月	総流入負荷 ton/日	河道内フラックス減少 ton/日	残存率	減少係数 /日
BOD	H 6 / 1 1	18.1	13.7	0.24	0.21
	H 6 / 1 2	14.6	10.6	0.27	0.20
COD	H 6 / 1 1	26.3	6.5	0.75	0.05
	H 6 / 1 2	23.0	5.8	0.75	0.05
T-N	H 6 / 1 1	29.6	14.7	0.50	0.11
	H 6 / 1 2	25.9	14.2	0.55	0.11
T-P	H 6 / 1 1	14.3	3.9	0.07	0.36
	H 6 / 1 2	14.0	6.7	0.05	0.39

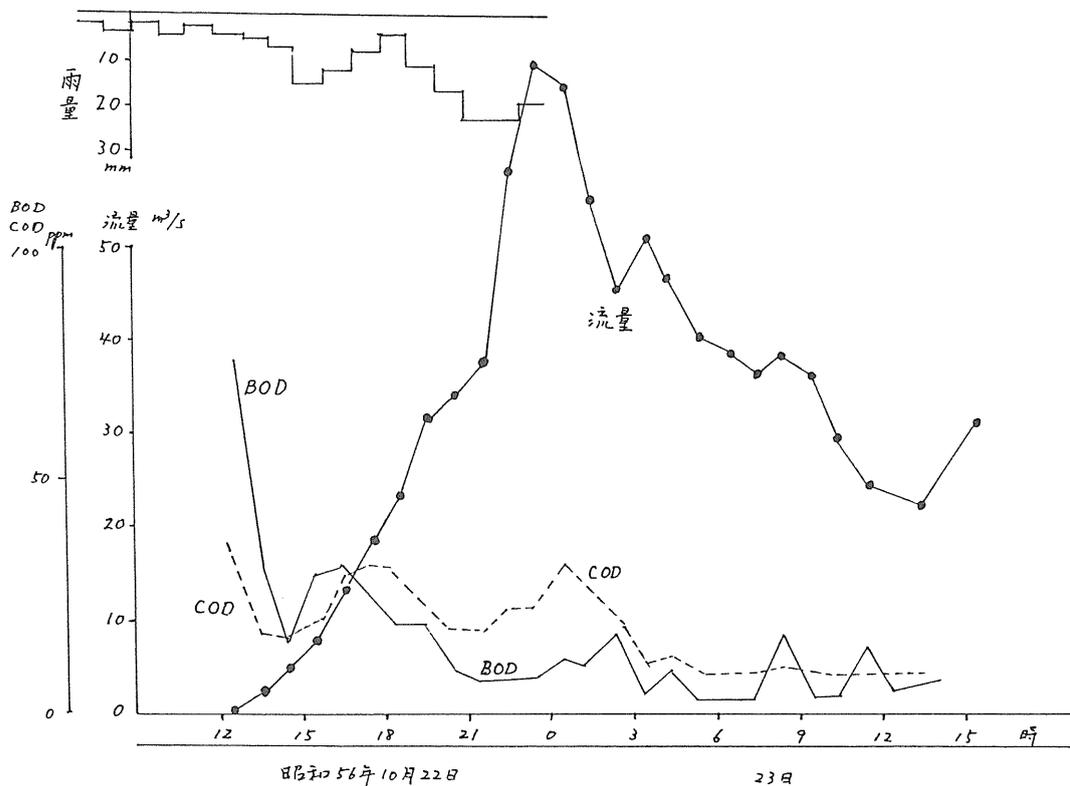


図3・8 昭和56年10月台風24号による鴨川出水記録

なお、SSは新岩淵水門付近での沈殿による減少傾向が顕著であるが、江北橋より下流で引き潮時に発生する高流速のために河床からの巻き上げが起これ、全体としてはSSフラックスの増加傾向が認められる。

3.4 支川流入負荷

図3・6(A)~(F)で、各支川からの流入負荷(平均フラックス)に注目してみる。

冬季(平成6年11, 12月)では、その観測当日の特殊性の可能性はあるが、鴨川からのBODの流入負荷

が極めて大きい。逆に、夏季には、下流部、特に芝川と木下川排水機場からのBODとCODの流入負荷が大きい。

その他に、流入負荷が大きい支川は、荒川左岸南部流域下水処理場と新岩淵水門であるが、これらは季節変化は小さい。

3.5 小出水記録

3回の一斉調査及び11年にわたる通日調査は、いずれも平水時に対応する水質調査である。一方、過去の

表3・5 BOD, CODのフラックス
(昭和56年出水と平成6年11月調査の比較)

	BODフラックス	CODフラックス
昭和56年10月出水初期	400 kg/hour	190 kg/hour
最大値	2,700 kg/hour	7,370 kg/hour
24時間計	48,700 kg/日	55,340 kg/日
平成6年11月 時間平均	200 kg/hour	130 kg/hour
24時間計	4,970 kg/日	3,160 kg/日

水質事故がしばしば小出水直後に起こっていることに鑑み、小出水時の水質調査記録は貴重である。

昭和56年10月22日～23日に、鴨川で台風24号による出水があった。この際に、鴨川の荒川本川合流点直上流の昭和樋門において、水位、流量、BOD、COD、SS各濃度が、ほぼ1時間間隔で実測され、浦和測候所には流域雨量を代表するとみなすことのできる降雨記録が残っている。これらを図3・8に示す。

これによれば、洪水初期に浦和測候所の累積雨量が10～20mmに達すると、BOD、COD濃度は急上昇し、平常時のほぼ3倍にまで達した。すなわち、浦和測候所の累積雨量が10～20mmに達することが、鴨川から荒川本川への汚濁負荷が急上昇するか否かの一つの指標と考えることができそうである。

洪水初期の濃度の急上昇が一段落した後は、BOD、COD濃度ともに、多少の変動はあるものの、洪水終了まではほぼ一定値で推移する。したがって、BOD、CODの負荷量はほぼ流量に比例することになり、その最大値は流量のピークの1～2時間後に実現した。

BOD、CODのフラックスで、平成6年11月の観測結果と比較すると、表3・5のようになる。

4. 水質濃度の標準偏差 — エントロピー最大原理による推定 —

4.1 水質濃度の標準偏差

一方向流れの通常の河川と比較すると、感潮河川では潮汐流が存在するために、流速の変動はもちろんのこと、水質濃度の平均値のまわりの変動、すなわち、標準偏差が大きい。

ある水質の濃度を c とすると、その時間変化の最大の要因は、通常、移流効果

$$\partial(Qc)/\partial x = c\partial Q/\partial x + Q\partial c/\partial x$$

である。

このうち、第1項の $\partial Q/\partial x$ は水位変化 $\partial h/\partial t$ に比

例するもので、河川縦断方向に地点間で違いが少ない。したがって、第2項に含まれる、流量 Q あるいは濃度勾配 $\partial c/\partial x$ の大きな地点で、水質濃度 c の時間変化、ひいてはその時系列の標準偏差が大きくなることがわかる。

簡単のために、ある水質濃度の観測値が正規分布をすると仮定すると、観測値がその平均値から±(標準偏差)の範囲内に入る確率は68.2%、即ち、その範囲を超えるものは31.8%ということになる。環境基本法では、全観測値の75%が環境基準を達成することを要求しているので、この水質濃度の標準偏差を把握することが、感潮河川の水質管理の観点からも大変重要である。

前掲の表3・1には、3回の一斉調査における、各地点の各水質濃度の観測値時系列の、3節で検討した平均値 M とともに、標準偏差 σ とその比 σ/M をまとめてある。

水質管理上、特に重要なDO、BOD、CODの σ/M に注目してみる。DOの σ/M は、平成8年7月の中に0.2を超えるものが少しあるだけで、あとはほぼ0.1程度ないしそれ以下である。CODの σ/M も、ほぼ0.1以下の値をとるが、下流の葛西橋や平井大橋で0.2を超えることがある。BODの σ/M は、これらに比べて大きく、下流や新河岸川で0.5程度まで達している。移流効果のうち、流量 Q はこれら三者に共通であるので、 σ/M の相違は $\partial c/\partial x$ の違いと非移流効果に帰することができる。

T-N、T-Pの σ/M は、上流部では0.1程度またはそれ以下であるが、下流に近づくと上昇し、葛西橋では0.3を超える。これは海水のT-N、T-P濃度が非常に小さいために $\partial c/\partial x$ が大きくなっているためである。下流の葛西橋や平井大橋における、SS及び濁度の σ/M は、大潮時(H6/11, H7/8)には大きく、小潮時(H6/12)には小さい。これは、底面付近の最大流速の大小が、底質の巻き上げの多少に表れたと考えられる。

これらの水質濃度の時系列の標準偏差を推定する方

法を確立し、水質管理に役立たせることは非常に有用である。したがって、ここではエントロピー最大原理を用いて、水質濃度時系列の標準偏差に関する理論的検討を行い、その結果の実用性を考察することとする。

4.2 水質濃度の標準偏差のエントロピー最大原理による推定

エントロピー (entropy) は、厳密には、エネルギー、温度、圧力などとともに、熱平衡状態で定義される物理量である。

熱平衡状態にある閉じた系の、或る部分系のエネルギーが E と $E+\Delta E$ との間の値をとる確率が

$$W(E)\Delta E \quad (4 \cdot 1)$$

となるように、 $W(E)$ を定義する。

このエネルギーの確率分布 $W(E)$ を得るためには、この部分系の分布関数 $w(E)$ に、 E と $E+\Delta E$ との間のエネルギーをもつ量子状態の数をかければよい。

そこで、エネルギーが E に等しいか、それより小さい量子状態の数を $\Gamma(E)$ で表すと、エネルギーが E と $E+\Delta E$ との間の値をとる状態の数は

$$\Delta\Gamma = d\Gamma(E)/dE \cdot \Delta E \quad (4 \cdot 2)$$

となり、エネルギーの確率分布 $W(E)$ は、

$$W(E) = d\Gamma(E)/dE \cdot w(E) \quad (4 \cdot 3)$$

となる。

さて、量子状態のもつ自由度が、 10^{23} 程度という極めて大きな値となるために、関数 $W(E)$ は、ある値 E_0 の近傍に極めて鋭い極大をもつことがわかる。そこで曲線 $W(E)$ の「幅」 ΔE を、高さが極大値 $W(E_0)$ に等しく、面積が 1 に等しい長方形の幅と定義する。

$$W(E_0) \cdot \Delta E = 1 \quad (4 \cdot 4)$$

式 (4.2) と (4.3) を用いると、(4.4) は、すなわち

$$\Delta\Gamma \cdot w(E_0) = 1 \quad (4 \cdot 5)$$

を意味する。

(4.2) で表される $\Delta\Gamma$ は、その部分系の巨視的状態の統計的重みと呼ばれ、その対数

$$H = \ln \Delta\Gamma \quad (4 \cdot 6)$$

を、エントロピーと呼ぶ。また、区間 ΔE は、その部分系のエネルギーのゆらぎの平均 (標準偏差) とほぼ一致する。

一方、部分系の確率分布関数 w は、次の形をとることが証明できる。²⁰⁾

$$\ln w(E) = \alpha + \beta E \quad (4 \cdot 7)$$

したがって、エントロピーは次式で表すことができ

ることがわかる。

$$H = - \langle w(E) \cdot \ln w(E) \rangle \quad (4 \cdot 8)$$

ここに、 $\langle \rangle$ 記号は、熱平衡状態での平均値を表す。

このように、エントロピーは、熱平衡状態の統計力学において厳密に定義された物理量である。

このエントロピーを、式 (4.8) による定義を用いて拡大解釈したものが、情報理論において用いられた^{21) 22)}。さらに、水理学においても Chiu が、式 (4.8) で定義されるエントロピーの最大原理を用いて、開水路の、流速、剪断力および浮遊粒子分布の問題に応用した²³⁾。

ここでは、同じくエントロピー最大原理を、感潮河川の水質濃度の時系列の標準偏差を求める問題に応用する。

一般に、巨視的な量子状態のもつ自由度が 10^{23} 程度と極めて大きな値であるために、その確率分布関数 $w(E)$ はある値 E_0 で極めて鋭い極大をもつので、実際には、確率分布関数 $w(E)$ が極大となる状態しか実現しえない。こうして、元来、確率的 (stochastic) である物理現象が決定論的 (deterministic) な振る舞いをするを、「エントロピーが最大の状態が実現する」という原理として述べているわけである。

このあたりは、自由度が 10^{23} と比べると桁違いに小さい水理現象にあてはめるときには注意を要するが、確率分布関数が極大をもつ状態が実現しやすいことは確かである。

4.2.1 定式化

水質 s が s と $s+ds$ の間の値をとる (時間) 確率が $p(s)ds$ であるように、確率密度 $p(s)$ を定義する。

確率密度 $p(s)$ の定義より直ちに

$$\int_{s_{mn}}^{s_{mx}} p(s)ds = 1 \quad (4 \cdot 9)$$

となり、また、水質 s の平均値は次式で得られる。

$$\int_{s_{mn}}^{s_{mx}} sp(s)ds = \bar{s} \quad (4 \cdot 10)$$

積分の上下限は、水質 s の「可能最大値」 s_{mx} と「可能最小値」 s_{mn} である。

エントロピーは、確率密度 $p(s)$ により式 (4.11) のように表すことができる。

$$H(s) = - \int_{s_{mn}}^{s_{mx}} p(s) \ln p(s)ds \quad (4 \cdot 11)$$

条件 (4.9) 及び (4.10) の下で、エントロピー (4.11) を最大にする確率密度 $p(s)$ は、Lagrange の未定乗数法で得ることができる。

$$\delta/\delta p \left\{ \lambda_1 \left(\int_{smn}^{smx} p(s) ds - 1 \right) + \lambda_2 \left(\int_{smn}^{smx} s p(s) ds - \bar{s} \right) - \int_{smn}^{smx} p(s) \ln p(s) ds \right\} = 0 \quad (4 \cdot 12)$$

ここに、 λ_1 と λ_2 は未定乗数である。

この偏分型の条件式の解は (4・13) である。

$$p(s) = e^{\lambda_1 - l} e^{\lambda_2 s} \quad (4 \cdot 13)$$

確率密度 $p(s)$ の解 (4・13) を条件式 (4・9) に代入すると、 λ_1 は λ_2 によって表される。

$$\lambda_2 e^{l - \lambda_1} = e^{\lambda_2 smx} - e^{\lambda_2 smn} \quad (4 \cdot 14)$$

さらに、確率密度 $p(s)$ の解 (4・13) を条件式 (4・10) に代入すると、式 (4・15) を得る。

$$\bar{s} \lambda_2 e^{l - \lambda_1} = (smx - 1/\lambda_2) e^{\lambda_2 smx} - (smn - 1/\lambda_2) e^{\lambda_2 smn} \quad (4 \cdot 15)$$

式 (4・14) を用いると式 (4・15) は (4・16) となり、定数 λ_1 は、 smx 、 smn と水質 s の平均値と関係づけられるので、これを用いて陰解法で求めることができる。

$$0 = (smx - 1/\lambda_2 - \bar{s}) e^{\lambda_2 smx} - (smn - 1/\lambda_2 - \bar{s}) e^{\lambda_2 smn} \quad (4 \cdot 16)$$

演算の簡単のために、式 (4・16) を smx で規格化して、次の3つのパラメータを定義すると、

$$\bar{S} = \bar{s}/smx, \quad l = \lambda_2 \cdot smx, \quad c = smn/sm x \quad (4 \cdot 17)$$

式 (4・16) は (4・18) となる。

$$0 = (1 - 1/l - \bar{S}) e^l - (c - 1/l - \bar{S}) e^{lc} \quad (4 \cdot 18)$$

さて、水質 s の標準偏差 σ_s の定義は (4・19) 式であるので、

$$\sigma_s^2 = \int_{smn}^{smx} (s - \bar{s})^2 p(s) ds = \int_{smn}^{smx} s^2 p(s) ds - (\bar{s})^2 \quad (4 \cdot 19)$$

σ_s は、 λ_2 を通じて smx 、 smn と水質 s の平均値で表すことができる。

$$\sigma_s^2 = \{ ((smx)^2 - 2smx/\lambda_2 + 1/(\lambda_2)^2) e^{\lambda_2 smx} - ((smn)^2 - 2smn/\lambda_2 + 1/(\lambda_2)^2) e^{\lambda_2 smn} \} / (e^{\lambda_2 smx} - e^{\lambda_2 smn}) - (\bar{s})^2 \quad (4 \cdot 20)$$

式 (4・17) のパラメータを用いると、

$$\sigma_s^2 / (smx)^2 = \{ (1 - 2/l + 1/l^2) e^l - (c^2 - 2c/l + 1/l^2) e^{lc} \} / (e^l - e^{lc}) - (\bar{S})^2 \quad (4 \cdot 21)$$

4.2.2 観測値との比較

式 (4・21) から算出した標準偏差 σ_{sc} と、観測値から得た標準偏差 σ_{so} を比較する。

3回の一斉調査のうち、平成6年11月、12月では、塩素イオン濃度を除いては、水質諸量のサンプルとして、画一的に2、5、8割水深のコンポジットした資料しか残っていないので、断面平均値としては必ずしも精度のよいものではない。一方、平成7年8月には、すべての水質諸量のサンプルとして、上下層の資料を採取し、それらに有効断面の重みをかけて加重平均してあり、断面平均値として精度がよい。また、平成6年11月、12月の塩素イオン濃度も50cmごとの資料を採取し、それから加重平均してあるので、断面平均値としての精度がよい。そこで、平成6年11月、12月の塩素イオン濃度と、平成7年8月のDO、BOD、CODを選んで、これらの標準偏差を検討した。なお、夏季(灌漑期)一般の傾向として、平成7年8月の塩素イオン濃度は非常に低かったのでこれに含めなかった。

標準偏差 σ_{sc} を算出するためには、各地点で当該水質濃度の「実現可能範囲」(最大 smx 、最小値 smn) を決定する必要がある。そのために、まず、その地点への「影響範囲」として、観測開始時刻から24時間の観測期間の間に移流によってその地点へ到達しうる範囲を設定した。観測開始時刻はいずれの場合にも干潮付近であったため、各地点の影響範囲はいずれも±5km程度であり、ちょうど隣接する観測点1つを含むたちとなった。

各地点で当該水質濃度の実現可能範囲を、この影響範囲を用いて決定する方法として、ここでは2つの方法を検討した。

第一の方法は、24時間の観測期間の間にその影響範囲内で、毎時25回観測された最大値および最小値の間を実現可能範囲とするものである。この方法は、明らかに、実現可能範囲を大きめに設定しており、算出される標準偏差 σ_{sc1} は観測値から得た標準偏差 σ_{so} より大きいことが予想できる。

第二の方法は、影響範囲内にあるいくつかの観測点における「当該水質観測量の24時間平均値」の最大値と最小値の間を実現可能範囲とした。この方法は、「実現可能範囲」を小さめに設定していることになり、算出される標準偏差 σ_{sc2} は観測値から得た標準偏差 σ_{so} より小さいことが予想できる。

ただし、第二の方法では、当該水質観測量の24時間平均値が、その地点で河川縦断方向に極値をとる場合には、その地点での平均値が実現可能範囲の外に出てしまうわけで、標準偏差 σ_{sc2} を算出することが出来な

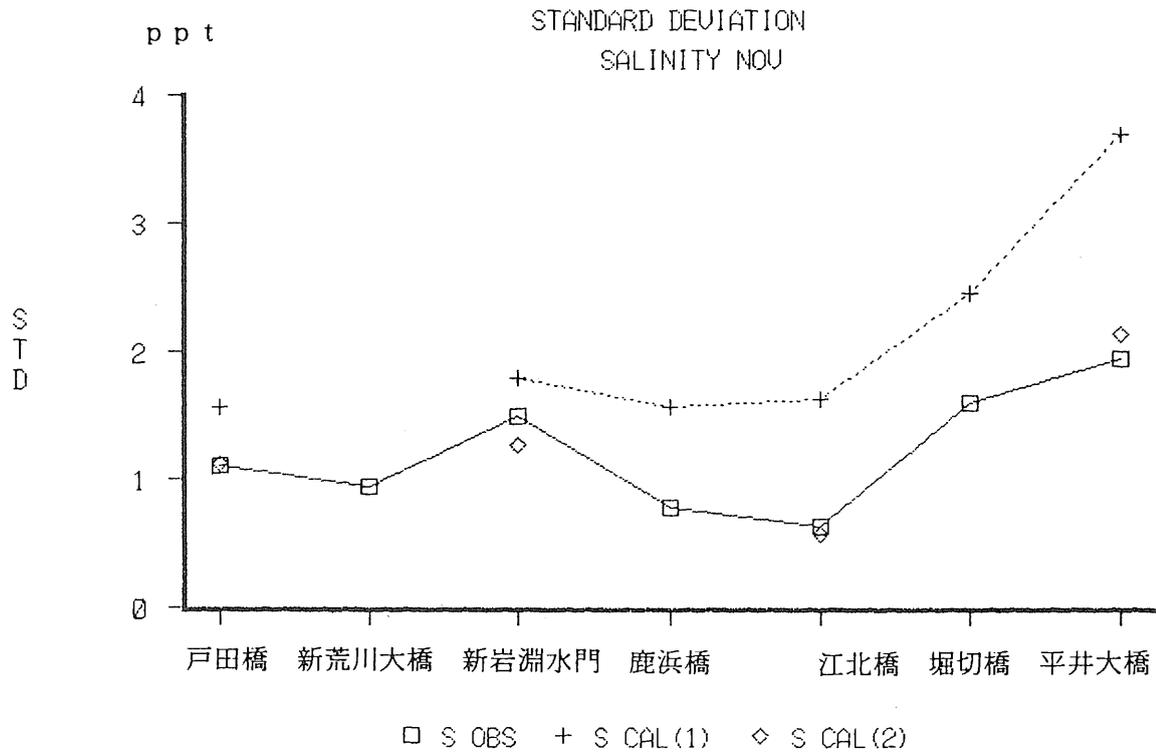


図4・1 塩素イオン濃度の標準偏差 (H6/11)

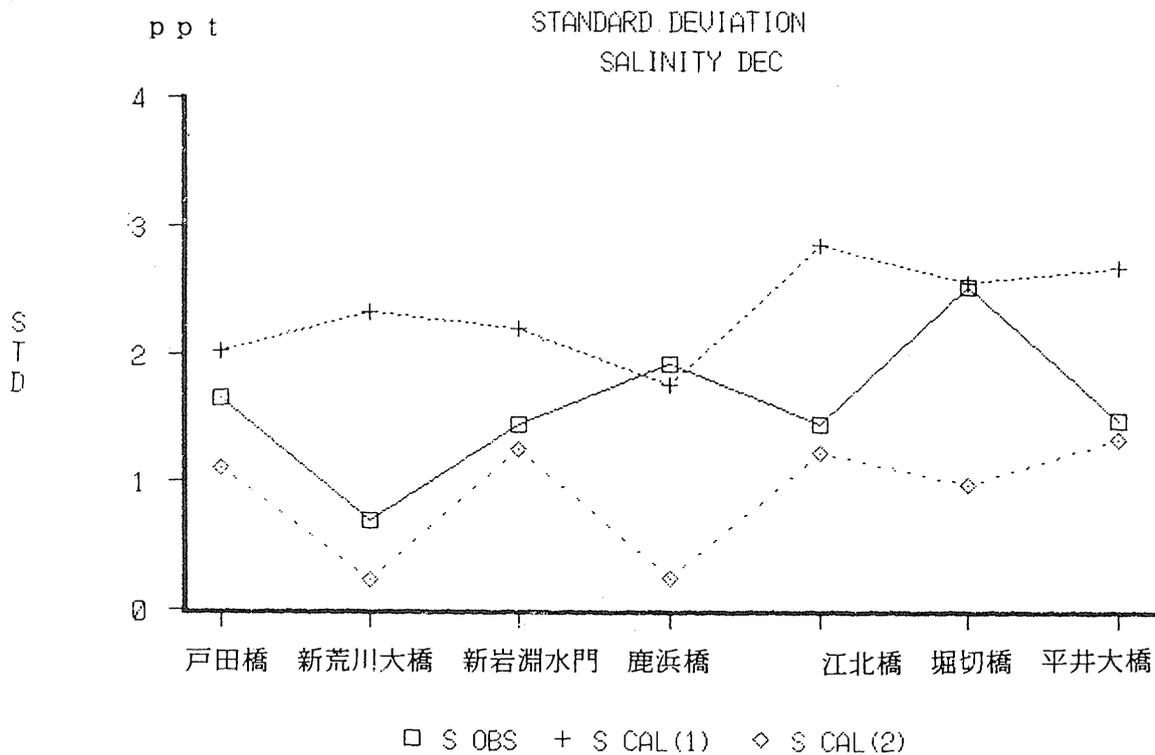


図4・2 塩素イオン濃度の標準偏差 (H6/12)

くなる。また、第一の方法でも、上記の方法で設定した実現可能範囲と観測量の24時間平均値に矛盾を含む場合には、標準偏差 σ_{sc1} を算出することが出来なくなることもある。

図4・1と4・2は、それぞれ、平成6年11月、12月の塩素イオン濃度に関して、二つの方法で算出した標準偏差 σ_{sc1} 、 σ_{sc2} を、観測値から得た標準偏差 σ_{so} と比較したものである。予想通り、第一の方法で算出し

た標準偏差 σ_{sc1} は、観測値から得た標準偏差 σ_{so} より大きめになっている。第二の方法で算出した標準偏差 σ_{sc2} は、観測値から得た標準偏差 σ_{so} と比較して、11月ではほぼ同程度、12月ではやや小さめになってい

る。

図4・3~4・5は、平成7年8月の、それぞれ、DO, BOD, CODの各濃度に関して、二つの方法で算出した標準偏差 σ_{sc1} , σ_{sc2} を、観測値から得た標準偏差 σ_{so}

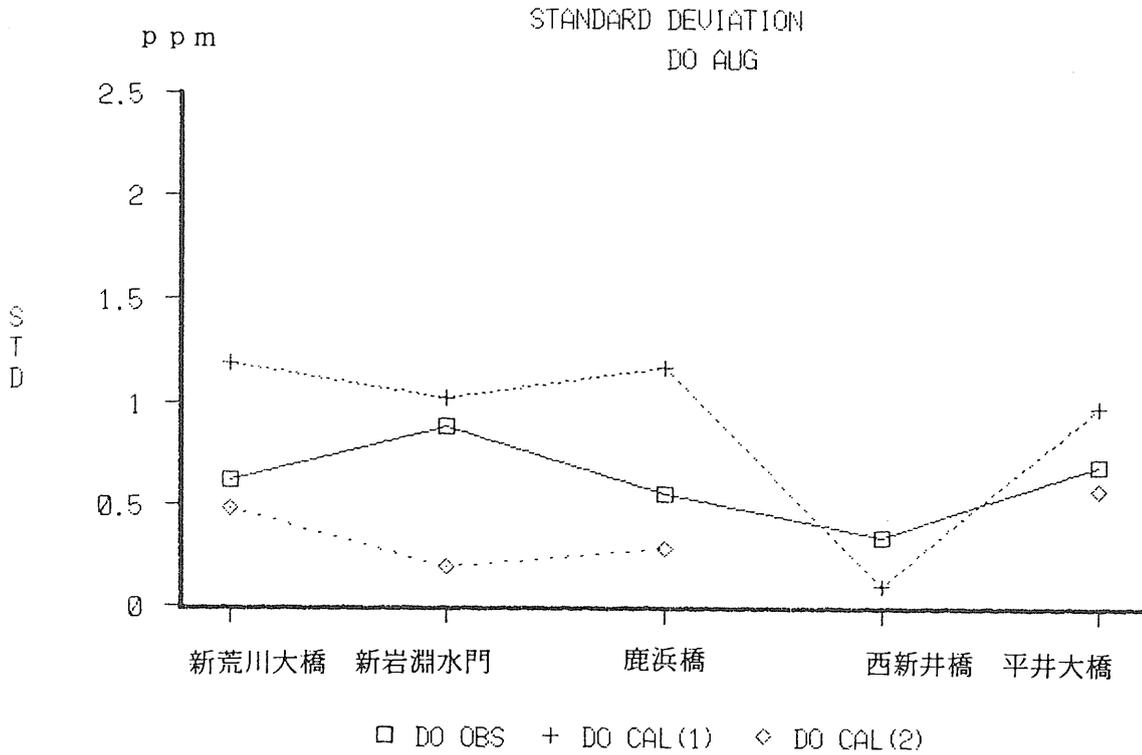


図4・3 DO濃度の標準偏差 (H7/8)

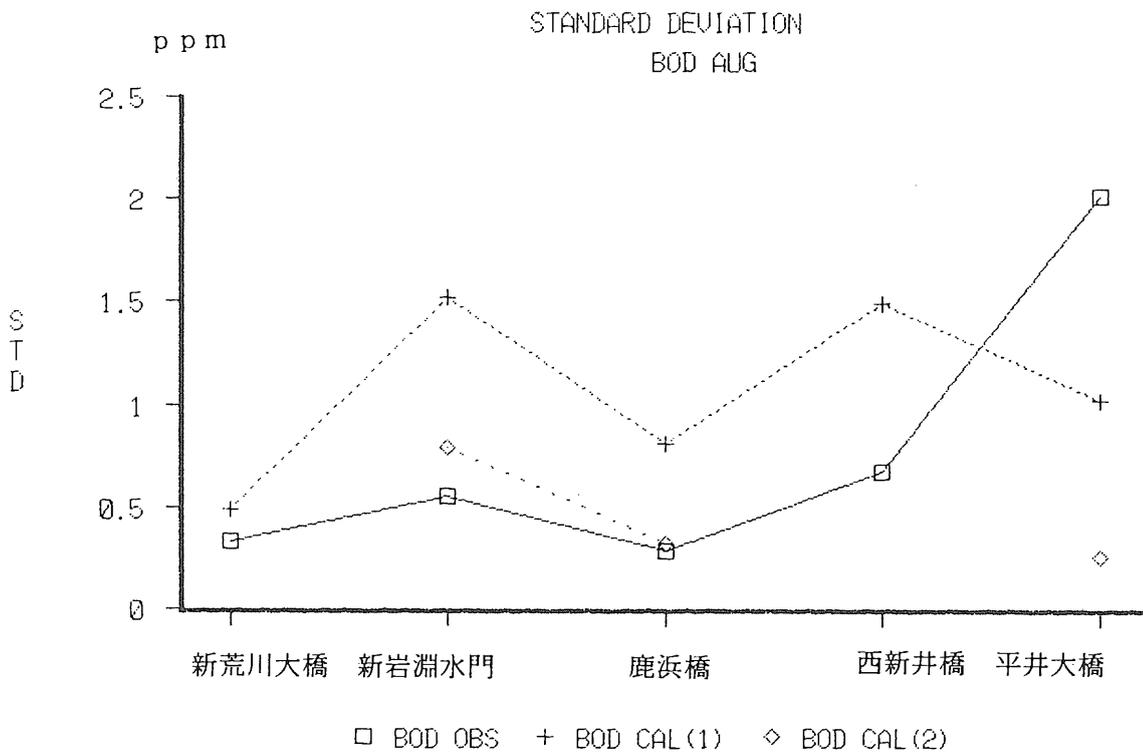


図4・4 BOD濃度の標準偏差 (H7/8)

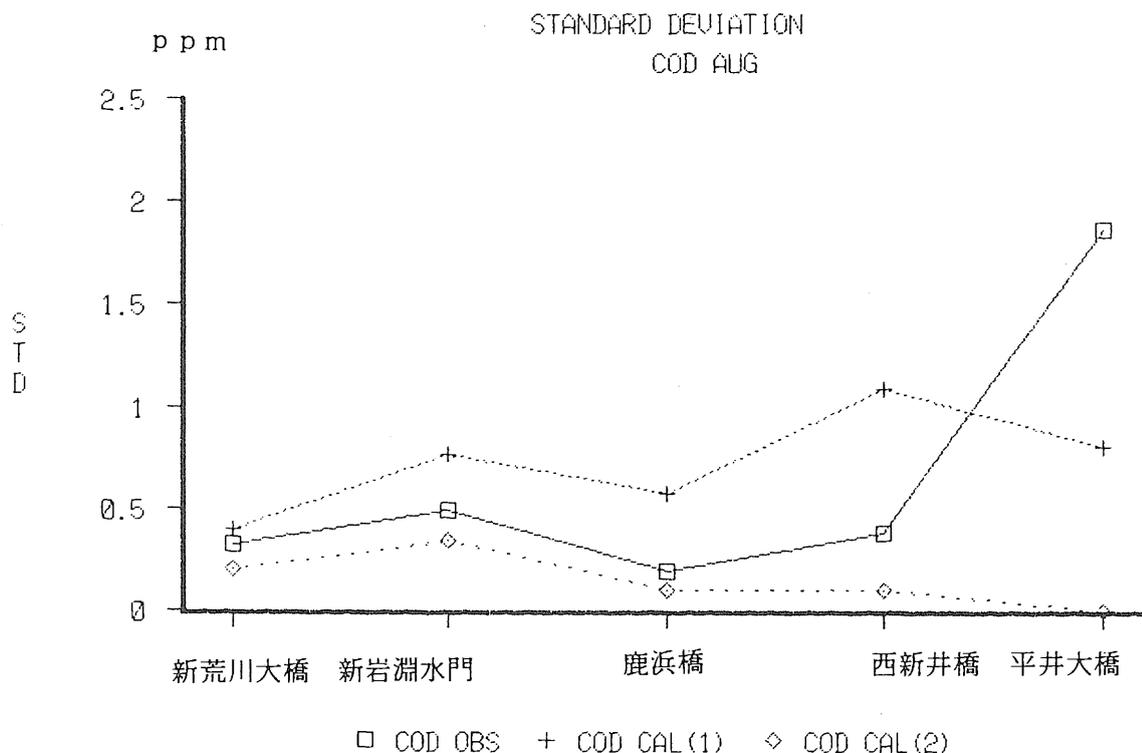


図4・5 COD濃度の標準偏差 (H7/8)

と比較したものである。平井大橋以外では、観測値から得た標準偏差 σ_{so} は、ほぼ、第一の方法で算出した標準偏差 σ_{sc1} より小さく、第二の方法で算出した標準偏差 σ_{sc2} より大きくなっている。なお、平成7年8月の河口部（平井大橋、葛西橋）では、BODとCODの観測値から得た標準偏差 σ_{so} が異常に大きくなっている。これは、24時間観測の最初および最後の干潮時の数値が大きかったためである。

上記のように、まず、移流によってその地点へ到達しうる影響範囲を決定し、その範囲内での当該水質の変動範囲から、二つの方法でその地点での実現可能範囲（最大、最小値）を定め、それから二つの標準偏差 σ_{sc1} 、 σ_{sc2} を得れば、その水質濃度の標準偏差を推定することができることがわかる。

5. 河川水質管理の指標

従来、BODが河川の水質管理指標として使用されてきている。BODに寄与するのは生物により分解される有機物とアンモニアなど窒素化合物である。典型的な下水処理場では、このうち、有機物は95%以上汚泥として除去するがアンモニアは50%程度しか除去していない。

CODに寄与するのは化学的に分解される有機物であり、BODに寄与する有機物の範囲よりも広い。一

方、アンモニアなど窒素化合物はBODには寄与するが、CODにはほとんど寄与しない。従って、アンモニア含有量の少ない水では一般にCODがBODより大きくなり、下水処理排水の影響の大きくアンモニア含有量の多い水ではBODがCODより大きくなる。

また、BODの測定には5日を要するが、COD、DO、塩素イオンは即座に測定値を得ることができる。さらに、BODには同じサンプルから複数回の測定を行った場合に相互に誤差が大きくなるという欠点もある。

5.1 BODとCODの相関

平成6年11月、12月の一斉調査では、塩素イオン濃度を除いては、水質諸量のサンプルとして、画一的に2、5、8割水深のコンポジットした資料しか残っていないので、断面平均値としては必ずしも精度のよいものではない。そのためもあり、これらの資料からは、BODとCODのよい相関を得ることができなかった。

一方、平成7年8月には、すべての水質諸量のサンプルとして、上下層の資料を採取し、それらに有効断面の重みをかけて加重平均してあり、断面平均値として精度がよい。この資料からBODとCODの相関を求めたのが図5・1である。

荒川と隅田川の資料を区別すると、それぞれではBOD、CODの間には互いにより相関のあることが分か

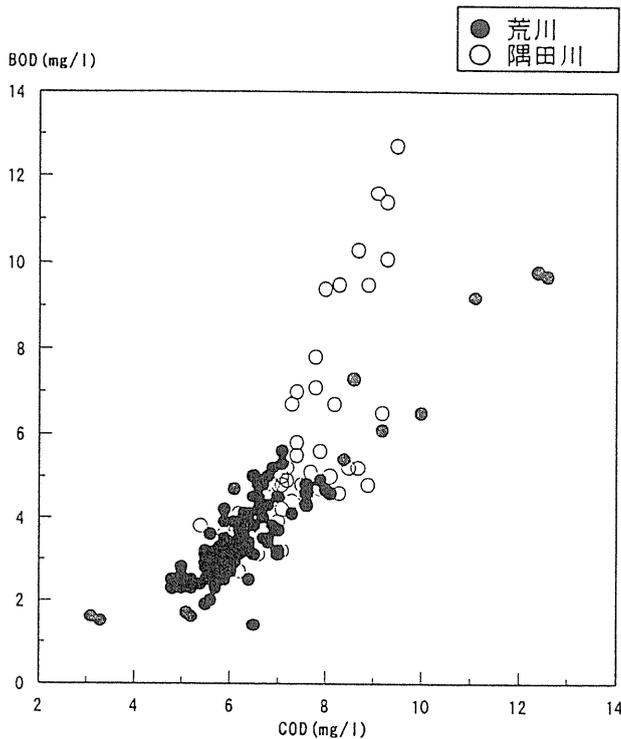


図5・1 BODとCODの相関

る。すなわち、隅田川では新河岸川の下水処理水の影響が大きいため、荒川よりもアンモニア含有量が大きくなり、同じCODの値に対して、隅田川ではBODが高くなることを示している。

従って、測定値が安定しており、即座に観測値を得ることのできるCODをBODに代わる水質管理指標として用いる方が実際的であると考えられる。BODを用いて水質管理をおこなう必要があるときは図5・1の関係からCODからBODに多少の誤差を伴うが直ちに換算できるので問題はないと考える、もし下水処理場の増設あるいは処理能力の変更のある場合には図5・1の関係を更新しなければならない。

5.2 DO, COD, 塩素イオン濃度による水質監視

DO及び塩素イオン濃度も自動同時観測が可能である。特にDO濃度の低下は魚の浮上事故の直接原因と推測されているので、これを河川に沿って十分密な間隔で自動観測することにより、DO濃度の低下傾向を察知し、空気中からの再曝気の促進等の対策を迅速にとることができよう。

冬季(非灌漑期)の荒川下流部では、大潮、中潮時には河口部を除いて強混合状態であるが、小潮、長潮時には弱混合状態となり、新荒川大橋より上流にも塩水

楔が形成され、遡上する。この際、上下層の水はそれぞれ河川固有流と海水を起源とし、通常、水質も異なっている。DO濃度の自動観測地点で同時に塩素イオン濃度を測定することにより、水質を異にする河川固有の流れと海水の挙動を監視することができよう。

6. 荒川下流部の水質改善のための効果的方策

感潮河川の水質汚濁の主因は、支川からの汚濁負荷である。

年間を通じて流入負荷の大きいのは、荒川左岸南部流域下水処理場と新岩淵水門であり、これらの流入負荷の季節変化は小さい。

その観測当日だけの特殊性という可能性もあるが、冬季(平成6年11, 12月)では、鴨川からのBODの流入負荷が極めて大きかった。表6・1は、荒川左岸南部流域下水処理場放流水と鴨川の冬季観測当日の水質とその負荷を秋ヶ瀬堰放流水との比としてまとめたものである。

逆に、BODとCODの流入負荷が冬季に比べて夏季に大きくなるのは、下流部、特に芝川と木下川排水機場の影響である。

結局、荒川下流部の水質改善のためのもっとも効果的方策と考えられるのは、鴨川、荒川左岸南部流域下水処理場、新岩淵水門からの汚濁負荷を軽減することである。

そのためには、鴨川と新河岸川の水質を改善し、荒川左岸流域下水道の下水処理能力の拡充を図る必要がある。特に、鴨川の水質が悪化するのには、上流の浦和地方にある程度のまとまった降雨があった後の小出水時であるので、この時期に的をしばった対策を立てることが必要である。(浦和測候所の当日より前6~7日間の合計雨量が20mmいじょうになったとき、当日の汚濁負荷の流入がぞうだいすることがデータより知られる。)

小出水には、荒川下流部本川においても流速が増大し、河床からの底質の巻き上げにともなうP-BODなどの汚濁負荷の急上昇が予想される。3回の一斉調査はいずれも平水時に実施されたものであるため、小出水時すなわち河川固有流量の大きいケースの検討も必要になる。

7. 荒川下流部広域水理水質予測モデル

秋ヶ瀬堰から南砂町水位計測地点にいたる、全長約36kmの荒川下流部感潮域広域水理水質予測モデルを

表6・1 荒川左岸南部流域下水処理水と鴨川の冬季観測当日の水質とその負荷

項目	秋ヶ瀬堰放流水		荒川左岸南部流域下水		鴨川	
	H 6 / 1 1	H 6 / 1 2	H 6 / 1 1	H 6 / 1 2	H 6 / 1 1	H 6 / 1 2
流量 (m ³ /s)	14.2	6.0	4.7	4.8	2.2	0.4
BOD濃度	1.61ppm	1.99	15.0	17.0	28.8	96.9
BOD負荷	2.0 ton/日	1.0	6.1	7.1	5.5	3.3
同比	1	1	3.1	7.1	2.7	3.3
COD濃度	3.61ppm	3.25	12.0	14.0		
COD負荷	4.4ton/日	1.7	4.9	5.8		
同比	1	1	1.1	3.4		
T-N濃度	3.13	3.03	17.0	8.15		
T-N負荷	3.8	1.6	6.9	6.2		
同比	1	1	1.8	3.9		
T-P濃度	0.089	0.12	0.39	0.57		
T-P負荷	0.11	0.06	0.16	0.34		
同比	1	1	1.5	5.7		

作成した。新岩淵水門から新神谷橋までの隅田川河道も計算範囲に含めた。

河道の断面平均量を変数とする流下方向の一次元近似を採用すると、水位と流量を変数とする、河川の流動現象を支配する方程式はSt.Venant方程式となる。これと塩素イオン濃度の移流拡散方程式及び状態方程式を連立して解く。

検討する水質項目は、DO及びBOD濃度とする。その支配方程式は移流拡散方程式となる。BODは、sediment付着のP-BODと、水中に溶存するD-BODの二つに分けて取り扱う。

水質項目の時間変化を支配する方程式においては、移流拡散項以外に、空気中からの酸素の供給(再曝気)、溶出によるD-BODの増加、巻き上げによるP-BODの増加、バクテリアによる溶存酸素を消費するBODの減少、懸濁粒子の沈降によるP-BODの減少を考慮する。

7.1 モデルの検証

平成6年11月、12月と7年8月の一斉調査の観測資料を用いてモデルを検証した。

流動変数(水位、流量)の計算値との一致は概して

よいが、新岩淵水門より上流の流入支川の時系列資料が、平成6年11、12月の鴨川以外には無いため、当該区間での一致はやや劣る。ここで採用したマニング定数の値(0.010~0.020)は、別途検討の高水時の値(0.015)とよく符合している。

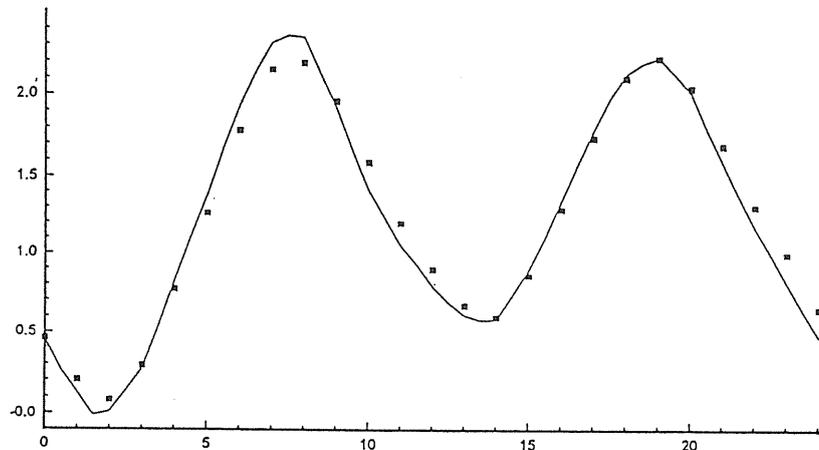
水質の断面平均値としての観測精度にまざる、平成7年8月の観測資料と計算値は全般によく一致している。この夏季観測では塩素イオン濃度が、冬季観測によるものと比較して極端に低かった。

平成6年の2回の観測資料と計算値も概して良好であるが、以下のような不一致点が認められる。塩素イオン濃度では新荒川大橋と新岩淵水門で計算値を大きく上回っている。このうち、新荒川大橋での測定値は測定地点の橋脚による大きな洗掘があり、そこに滞留していた塩分塊を拾ってしまったためである。新岩淵水門のP-BOD測定値は計算値よりずっと小さくなっている。その理由として考えられるのは、志茂橋のP-BOD測定値が過大であったことと、当該時期に新岩淵水門付近が塩分遡上の上端であったためにP-BODの凝集沈降が大きかったことの二つの可能性である。

D-BODとDO濃度の観測資料と計算値は、全般によく一致している。

観測資料と計算値との比較を図7・1~7・4に示す。

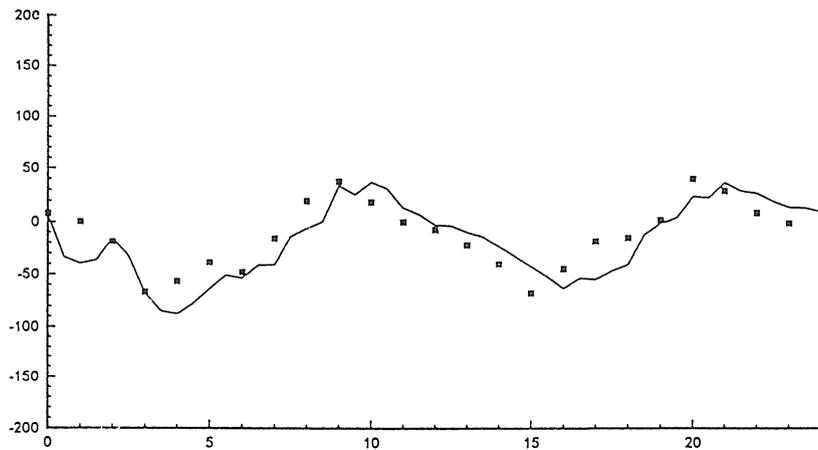
水位 (A.P. + m)



経過時間 (時間)

図7・1 新岩淵水門水位時系列 (H7/8, 実線: 検証計算, 点: 観測値)

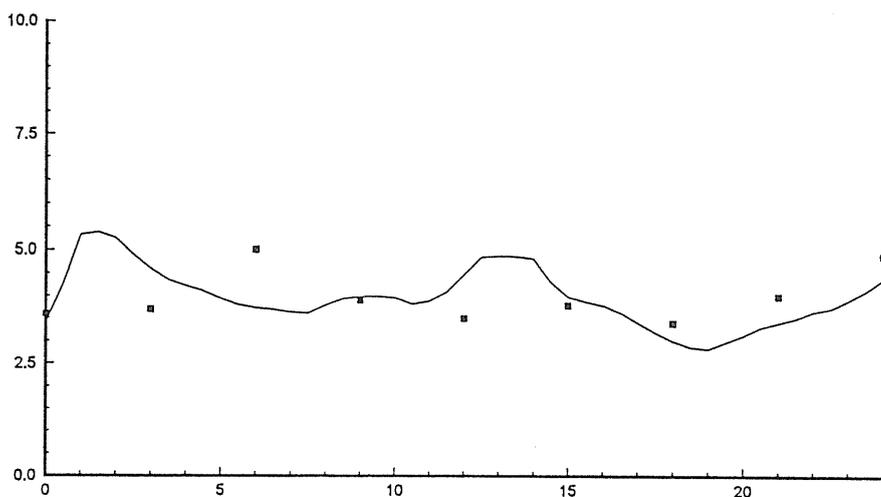
流量 (m^3/s)



経過時間 (時間)

図7・2 新岩淵水門流量時系列 (H7/8, 実線: 検証計算, 点: 観測値)

BOD濃度 (ppm)



経過時間 (時間)

図7・3 新岩淵水門BOD濃度時系列 (H7/8, 実線: 検証計算, 点: 観測値)

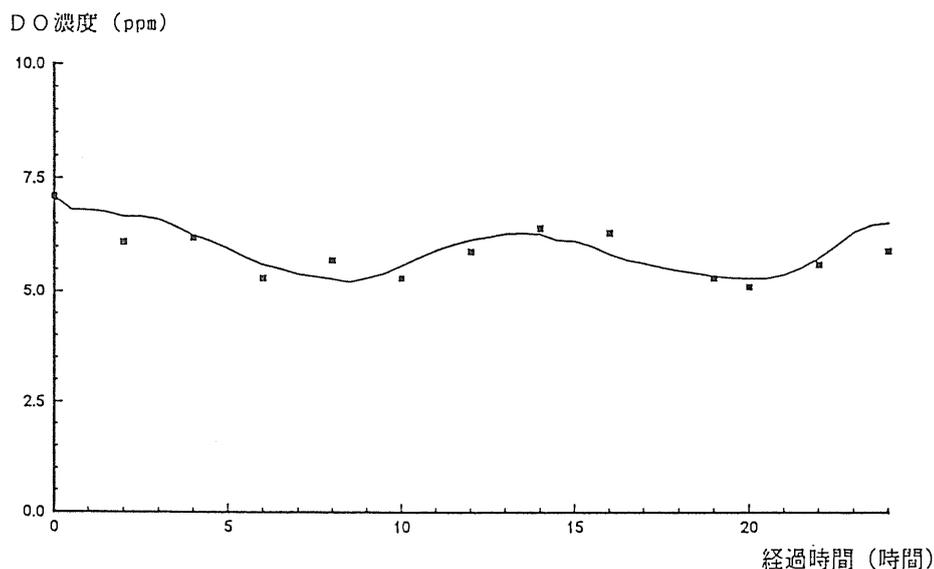


図7・4 新岩淵水門 DO 濃度時系列 (H7/8, 実線: 検証計算, 点: 観測値)

表7・1 計算ケース

ケース	季節別	秋ヶ瀬 放流量 (m^3/s)	荒川左岸南部流域下水 道放流水質 (BOD) (ppm)	備考
1	夏季	5	12	最低放流量(夏季基本ケース)
2	夏季	8.8	12	低水放流量
3	夏季	16	12	平成7年8月実績
4	夏季	5	5	高度処理
5	夏季	5	30	放流水質予想最悪
6	冬季	5	15	最低放流量(冬季基本ケース)
7	冬季	8.8	15	低水放流量
8	冬季	14	15	平成6年11月実績
9	冬季	5	5	高度処理
10	冬季	5	30	放流水質予想最悪

7.2 水質予測検討

予測計算の期間は14日間とし、合計10ケース実施した。(表7・1)

このとき、各支川からの流入負荷は一定と仮定して、支川流入水質を設定した。

水質予測計算の結果、以下のことが明らかになった。

1) 秋ヶ瀬放流量の影響

秋ヶ瀬放流量の変化の影響は DO 濃度に顕著に表れ

ている。しかし、D-BOD、P-BOD 濃度への影響は比較的小さい。

2) 荒川左岸南部流域下水道放流水質の影響

荒川左岸南部流域下水道の放流水の BOD 濃度の影響は、笹目橋と戸田橋では、当然 BOD 濃度に最も顕著に表れている。しかし、少し下った新荒川大橋と鹿浜橋では DO 濃度に最も顕著に表れている。

3) 水質維持のための条件 (必要秋ヶ瀬放流量と必要下水道放流水質)

平成7年8月11日と平成6年11月15日の特定の環境が14日間継続したと仮定したという条件下での、良好な水質を維持するために必要な秋ヶ瀬放流量と荒川左岸南部流域下水道放流水質は以下のとおりである。

まず、DOについて検討する。良好な水質であるためには、通常、5 ppm以上が要求され、また魚類生息のためには最低3 ppm程度が必要である。そこで、この二つの基準値を満足するための条件を求めることにする。

夏季（平成7年8月11日）の環境下では、最低放流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ でも3 ppm以上のDO濃度が、また、低水流量 $8.8\text{ m}^3/\text{s}$ では5 ppm以上のDO濃度が達成されている。一方、鴨川の水質が悪かった冬季（平成6年11月15日）の環境下では、3 ppm以上のDO濃度を達成するためには低水流量 $8.8\text{ m}^3/\text{s}$ が必要であり、当日の実績放流量である $14\text{ m}^3/\text{s}$ でほぼ5 ppm以上のDO濃度が達成されるが新荒川大橋地点では4.5 ppmを示す。

そこで、秋ヶ瀬放流量を最低放流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ に固定した場合に、荒川左岸南部流域下水道放流水質に課せられる条件を検討する。夏季（平成7年8月11日）の環境下では、放流水BOD濃度が想定最悪の30 ppmでも、3 ppm以上のDO濃度が、また、最良の5 ppmでは、5 ppm以上のDO濃度が達成されている。一方、冬季（平成6年11月15日）の環境下では、放流水BOD濃度が最良の5 ppmでも、5 ppm以上のDO濃度が達成されている地点はなく、戸田橋では3 ppmをも下回っている。

次に、BODへの影響を検討する。秋ヶ瀬放流量の、荒川下流部のBOD濃度への影響は小さいので、検討した最低放流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ 以上の秋ヶ瀬放流量では、現状で満たしている5 ppm以下という条件を満足する。

そこで、秋ヶ瀬放流量を最低放流量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ に固定した場合に、荒川左岸南部流域下水道放流水質に課せられる条件を検討する。夏季（平成7年8月11日）の環境下では、放流水BOD濃度が想定最悪の30 ppmであってもBOD濃度5 ppm以下が達成されている。冬季（平成6年11月15日）の環境下においても、放流水BOD濃度が想定最悪の30 ppmであってもBOD濃度5 ppm以下が笹目橋以外で達成されているが、笹目橋でBOD濃度5 ppm以下とするためには放流水BOD濃度は15 ppm以下でなければならない。

現在の段階で以上の知見を与えることが出来たが、更に観測値の吟味、解析を進めると共に、その結果に基づいてここで用いた水理・水質予測モデルを改善し、より確かな水質管理ができるよう研究を進める予定である。

8. まとめ

河川流量の測定には経費が非常に高くかかるので、流量の測定資料は比較的少ない。一方、水位は自動計測装置がつかえるので、精度よく測定することができるし、膨大な測定資料が存在する。したがって、なんらかの方法で、膨大な水位の測定資料から流量を推定することができれば、実質的な流量資料の量は飛躍的に増加し、また、今後、高い経費をかけて流量測定を実施する必要もなくなることになる。そこで、各地点の水位と流量の同時刻資料の関係を調べることにより、水位の測定資料から流量を推定する可能性を探ってみた。その結果、各地点ごとに、水位そのものまたは水位変化率と流量の間に強い相関のあることが判明した。今後さらに水位・流量関係の資料を集積すると同時に、この関係をさらに詳しく検討すれば、水位の測定資料から流量を推定する方法が確立できると考える。

一般に、河川各地点の水質管理の指標は各水質項目の濃度であるが、感潮河川ではそれらは時間的、場所的に常に変動している。その中で、水質濃度の平均値と、標準偏差によって代表される各地点での変動幅はもっとも重要なものである。水質濃度の平均値に対応する、流量の統計量は河川固有流量である。感潮河川の一見複雑な水理・水質変化を、これら統計量を導入することにより簡明に解釈できるようにした。とくに、標準偏差/平均値で整理すると、特殊な例を除いてほぼ安定した値が得られることが分かった。

たとえば、通日調査によれば、秋ヶ瀬堰放流量が $20\text{ m}^3/\text{s}$ 以上であれば、笹目橋の平均BOD濃度は $5\text{ mg}/1$ 以下にすることができる。また、出水時でないかぎり、標準偏差/平均値の値は大凡0.2程度で一定であるので、標準偏差の2倍の変動を考慮しても、笹目橋のBOD濃度の変動範囲は $7\text{ mg}/1$ 以下に抑えることができることになる。

水質濃度の変化を支配する諸要因のうちで、移流効果はすべての水質項目に共通して重要な要素である。特に、汚濁物質の流入実態を把握し、その対策を立案するためには、当該水質項目の流入総量である負荷量、あるいは通過フラックスを把握することが重要になる。そこで、各水質濃度の時間平均フラックスと、その横流入量である支川負荷量を検討し、感潮域での水質変化のメカニズムを明らかにした。

つぎに、ある地点の水質濃度時系列の標準偏差を、エントロピー最大原理により算出する方法を開発した。ここでも移流効果が支配的であることを仮定した。

さらに、同一河川ではBOD濃度とCOD濃度の間に

よい相関があることを指摘し、測定に5日間を要するBOD濃度の代わりにCOD濃度に着目することを提案した。また、荒川下流部の水質改善のための方策として、鴨川、荒川左岸南部流域下水道、新岩淵水門からの汚濁流入負荷の軽減が効果的であることを指摘した。

最後に、一斉調査と平行して開発した数値シミュレーション・モデル、荒川下流部広域水理水質予測モデルとそれによる水質予測計算結果について紹介した。

参考文献

- 1) Prichard, D. W. (1955) : Estuarine Circulation Patterns, Proc. ASCE, Sep. No. 717, Vol. 81.
- 2) Harleman, D. R. N. (1966) : Chap. 12, Estuary and Coastline Hydrodynamics, Ippen, A.T., Editor, McGraw-Hill.
- 3) Harleman, D. R. N., Lee, C. H., and Hall, L. C. (1968) : Numerical studies of unsteady dispersion in estuaries, J. Sanitary Engineering Div. ASCE, Vol. 94, No. SA 5, Proc. Paper 6160, pp. 897-911.
- 4) 吉川秀夫 (1970) : Estuary の水理, 水工学夏期研修会テキスト, 土木学会水理委員会.
- 5) Thatcher, M. L. and Harleman, D. R. N. (1972) : A mathematical model for the prediction of unsteady salinity intrusion in estuaries, MIT R. M. Parsons Lab. Report No. 144.
- 6) Odd, N. V. M. and Owen, M. W. (1973) : The simulation of mud transport in estuaries, UK Dept. of Environment, Water Pollution Research Tech. Rep. No. 13, pp. 148-154.
- 7) 上嶋英機, 藤原建紀, 早川典生 (1975) : 感潮河川における物質輸送の機構について (第一報), 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 239-247.
- 8) Festa, J. F. and Hansen, D. V. (1978) : Turbidity maxima in partially mixed estuaries : a two-dimensional numerical model, Estuarine and Coastal Marine Science, vol. 7, pp. 347-359.
- 9) 岩佐, 井上, 田中 (1982) : 河口感潮部の流れと拡散のシミュレーション, 京大防災研年報, No. 25, B-2, pp. 585-596.
- 10) 林泰造, 鶴巻有一郎, 大橋正和 (1983) : 河川感潮部に流下した浮遊泥砂の濃度変化の実測と数値解析, 第27回水理講演会論文集, pp. 323-334.
- 11) Uncles, R. J., Elliot, R. C. A. and Weston, S. A. (1985) : Dispersion of salt and suspended sediment in a partially mixed estuary, Estuaries, vol. 8, no. 3, pp. 256-269, .
- 12) 馬場洋二 (1992) : 河川における底泥の流送と堆積に関する基礎的研究, 京都大学工学部学位論文, 151p..
- 13) 宗宮功, 津野洋 (1993) : 河川水質管理モデル群の構築, 平成3, 4年度河川整備基金助成事業報告書, (財)河川環境管理財団.
- 14) 二渡了, 楠田哲也 (1992) : 強混合河川感潮部における懸濁物質輸送のシミュレーション. 土木学会論文集, No. 452, II-20, pp. 61-70.
- 15) 二渡了, 楠田哲也, 大石京子 (1992) : 強混合河川六角川感潮部における懸濁物質濃度の変動特性. 土木学会論文集, No. 452, II-20, pp. 71-79.
- 16) 二渡了, 大石京子, 古米弘明, 楠田哲也 (1992) : 強混合河川感潮部における硝化脱窒過程に関する研究. 土木学会論文集, No. 479, II-25, pp. 101-110.
- 17) 楠田哲也 (編) (1994) : 自然の浄化機構の強化と制御, 242p. 技報堂.
- 18) 建設省関東地建荒川下流工事事務所 (1995) : 平成6年度荒川下流部感潮域の水管理検討業務報告書.
- 19) 建設省関東地建荒川下流工事事務所 (1996) : 平成7年度荒川下流部感潮域の水管理検討業務報告書.
- 20) Landau, L. D. and Lifshitz, E. M. (1958) : Statistical physics, Pergamon press.
- 21) Goldman, S. (1953) : Information theory, Prentice Hall.
- 22) Shannon, C. E. (1948) : A mathematical theory of information, The Bell system technical report, vol. 27, pp. 623-656.
- 23) Chiu, C-L. (1987) : Entropy and probability concepts in hydraulics, J.HY division, ASCE, vol. 113, No. 5, pp. 583-600.

利根川本川における水質負荷量の現状

武田 宏*・木下 隆史**・中村 恭子***

要 旨

利根川水系では、増大する水需要に対応するため上流ダム群の他、中・下流の堰、導水路、湖沼開発、遊水池等による水資源開発を進めているが、水源となる河川では近年の流域開発による水質の悪化が懸念されている。大久保ら¹⁾は利根川上・中流域において河川水中のT-N, NO₃-N, 塩化物イオン, 溶存塩類濃度が経年的に上昇傾向にあることを示し、上流域の解析では今後も濃度上昇が続くものと予測している。そのため、水源としての河川の水質保全対策の推進が要望されている。このような水資源開発からの要請に加え、近年人々のうるおいとやすらぎのある河川環境への期待が高まっており、良好な水環境の確保のためにも河川の適正な水質管理は今後の重要な課題である。

河川の水質管理では、河川水の状態を表す直接的指標である水質項目の濃度に対して目標を設定し、その目標を達成するため、水域内の負荷量の流れを定量的に把握し予測・制御することが必要となる。

本研究は、利根川における水環境の改善と水資源開発の計画に資するため、河川および流域の水質関連情報をデータベース化して水質負荷量を総合的に捕らえ、今後の流域開発・下水道事業の進展等の影響を評価できる水質予測システムを作成することを目的としている。

本稿では、平成7年度の研究結果から、利根川本川における水質負荷量の現状について報告する。

1. 調査資料

水質は毎月の観測データ（観測日数は各月1日、日に2回測定）を、また水質負荷量算出のための流量として日平均流量を収集した。解析対象期間は、1981年から1990年までの10年間とし、水質測定値は「水質年表」（建設省河川局編）を、また、流量は「流量

年表」（建設省河川局編）および関連機関より収集した資料を用いた。対象地点は表1.1に示す本川15地点（岩本～銚子大橋）と主要支川最下流観測地点8地点の合計23地点とした。

表 1.1 調査地点一覧表

No	河川名	調査地点	水位・流量 観測所	距離(*) (km)
1	利根川 (本川)	岩本	岩本	223.1
2		群馬大橋	前橋	202.4
3		坂東大橋	八斗島	181.5
4		上武大橋	—	174.5
5		刀水橋	古戸	164.5
6		利根大堰(上)	利根大堰(下)	154.0
7		栗橋	栗橋	130.5
8		芽吹橋	芽吹橋	104.0
9		取手	取手	85.0
10		布川(栄橋)	布川	76.5
11		須賀	—	65.5
12		金江津	—	55.0
13		水郷大橋	—	39.5
14		河口堰	—	26.0
15		銚子大橋	—	2.0
16	烏川	岩倉橋	新町	4.0
17	神流川	神流川橋	—	1.1
18	渡良瀬川	三国橋	—	3.5
19	鬼怒川	滝下橋	—	3.0
20	小貝川	中郷	—	3.5
21	手賀川	手賀沼水門	—	0.0
22	派川利根川	運河橋	—	3.1
23	江戸川	関宿橋	西関宿	57.7

(*)本川・江戸川は河口から、支川は合流点からの距離

2. 調査結果

2.1 水質の縦断分布

各観測地点毎に日平均水質から年平均水質を算出し、年平均水質の縦断分布図を作成した。1990年の年平均水質縦断分布を図2.1に示す。

BODおよびCODは、上流の岩本で2 mg/l以下となっているが下流へ行くほど上昇する傾向にある。上武大橋から刀水橋にかけて大きく上昇しているのは、その

* 武田 宏 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長
 ** 木下 隆史 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究員
 *** 中村 恭子 (株)建設技術研究所 東京支社 応用理学部 課長

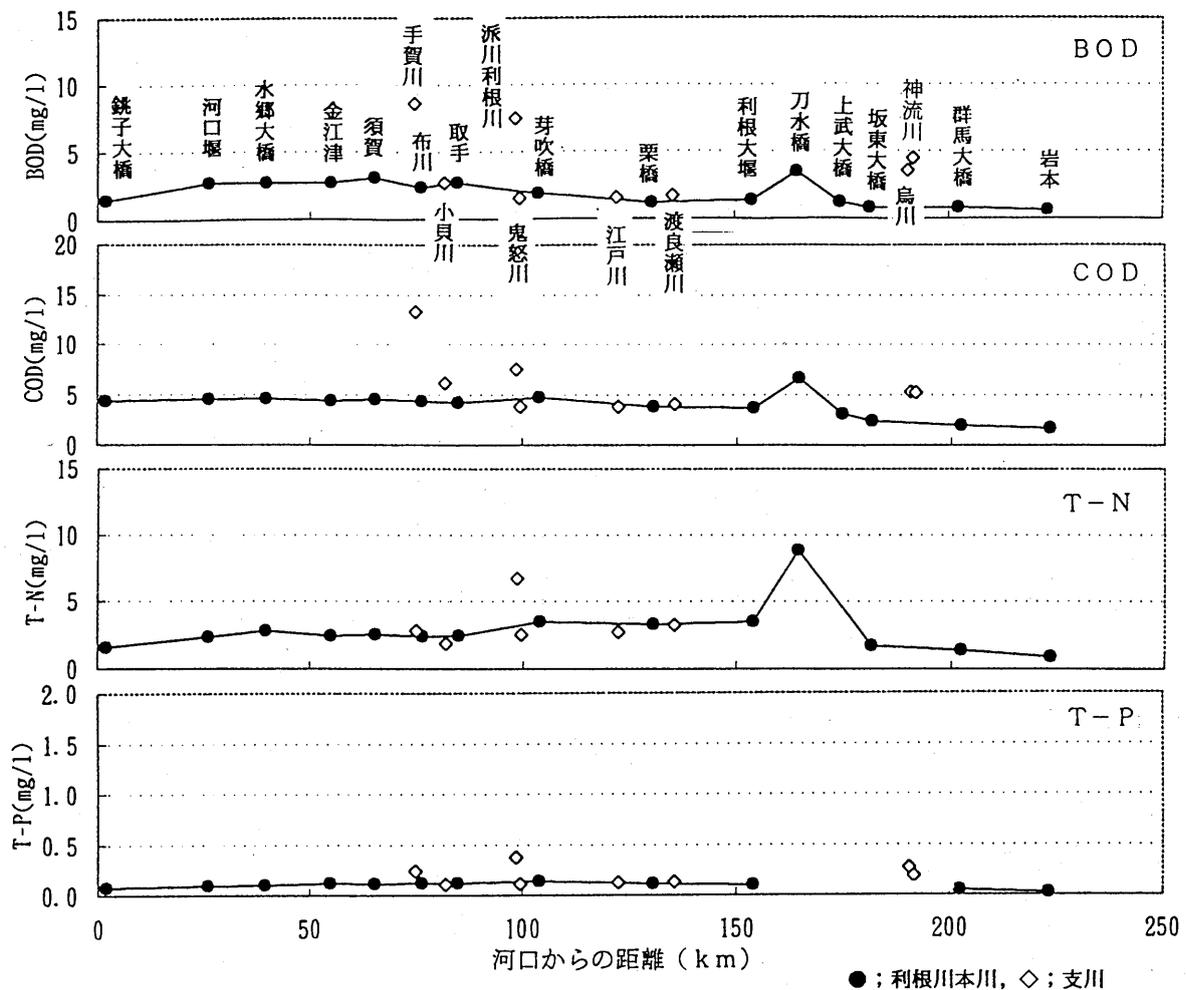


図 2.1 水質の縦断分布 (1990年)

間に左岸へ流入する早川 (尾島町), 石田川 (境町, 尾島町, 太田市), および右岸の小山川 (本庄市, 深谷市) 等の影響によるものと推定される。前橋市, 伊勢崎市, 太田市等を含む左岸流域は畜産業排水, および生活雑排水の増大により水質が悪化していると考えられる²⁾。

刀水橋下流の利根大堰地点をみるとBODで約3.5mg/lから約1.5mg/l, CODで約6.5mg/lから約3.5mg/lへと大幅に低減しているが, この区間の河川自浄効果・希釈効果を考慮してもこの低減率は過大であると考えられる (この地点の水質負荷量収支については2.4で考察する)。流入支川では烏川 (岩倉橋), 派川利根川 (運河橋), 手賀川 (手賀沼水門) の値が本川より高い。

T-Nは上流で低く, 大堰からは下流に向かって緩やかに低減している。流入支川の中では派川利根川の濃度が本川に比較して大きくなっている。T-Pも上流で

低く, 中流でやや高くなっている。支川では, 烏川, 派川利根川, 手賀川の濃度が高い。

2.2 水質負荷量の縦断分布

各水質観測地点毎に, 水質と観測当日の日平均流量を乗じて水質負荷量を算出した。流量が観測されていない地点の流量は, 近傍の観測流量から水収支を考慮して推定した。この結果を用いて1981年から1985年と1986年から1990年の5年間毎にヘーズン法による非超過確率25% (低水流量相当) 水質負荷量を算定した。ここでは, 1986年から1990年の非超過確率25%水質負荷量の縦断分布を図2.2に示す。

本川では下流へ行くほど水質負荷量が増大している。また, 支川の水質負荷量はいずれの項目についても本川より小さい。

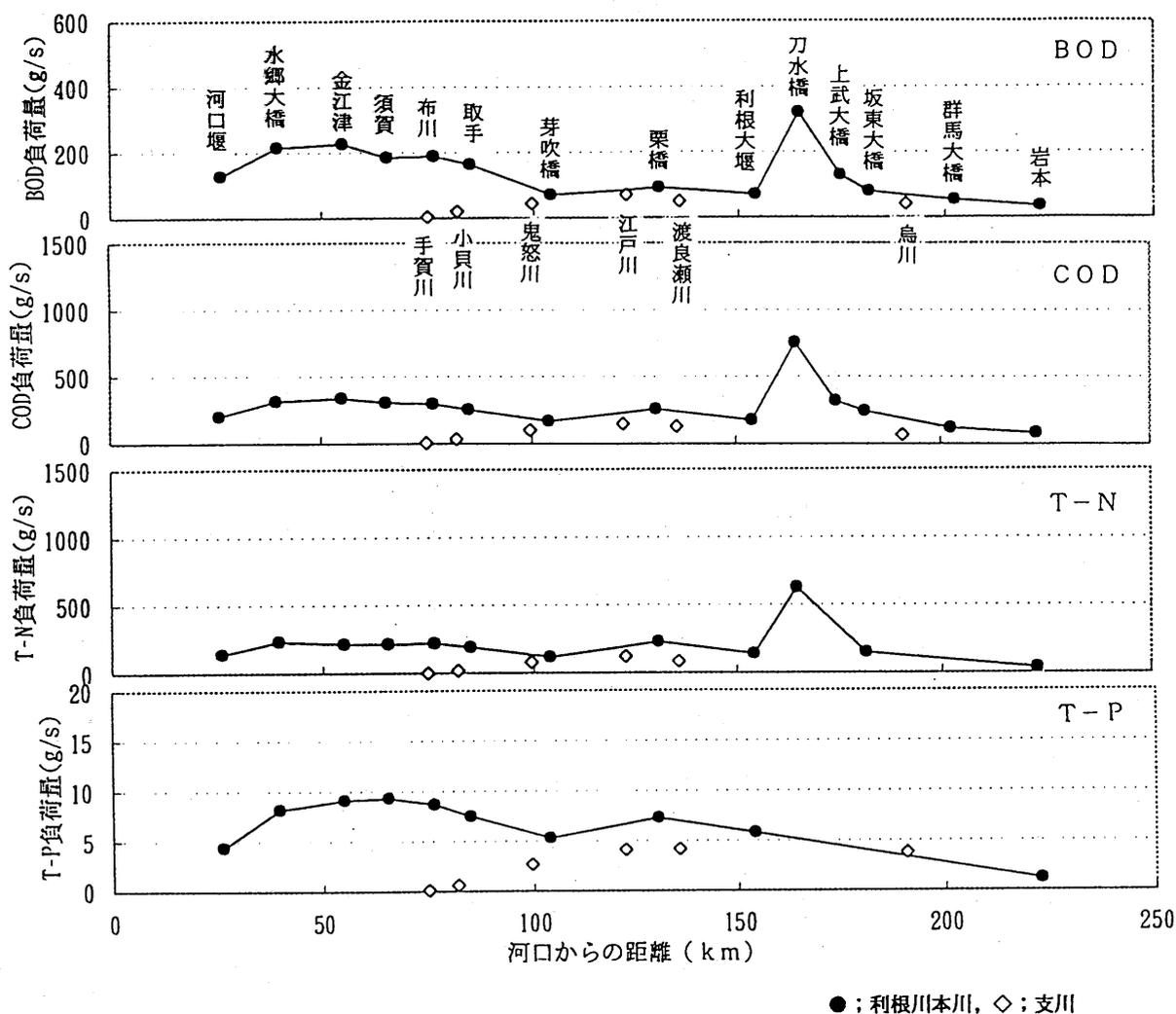


図 2.2 非超過確率25%水質負荷量の縦断分布 (1986~1990)

2.3 水質負荷量の経年変化

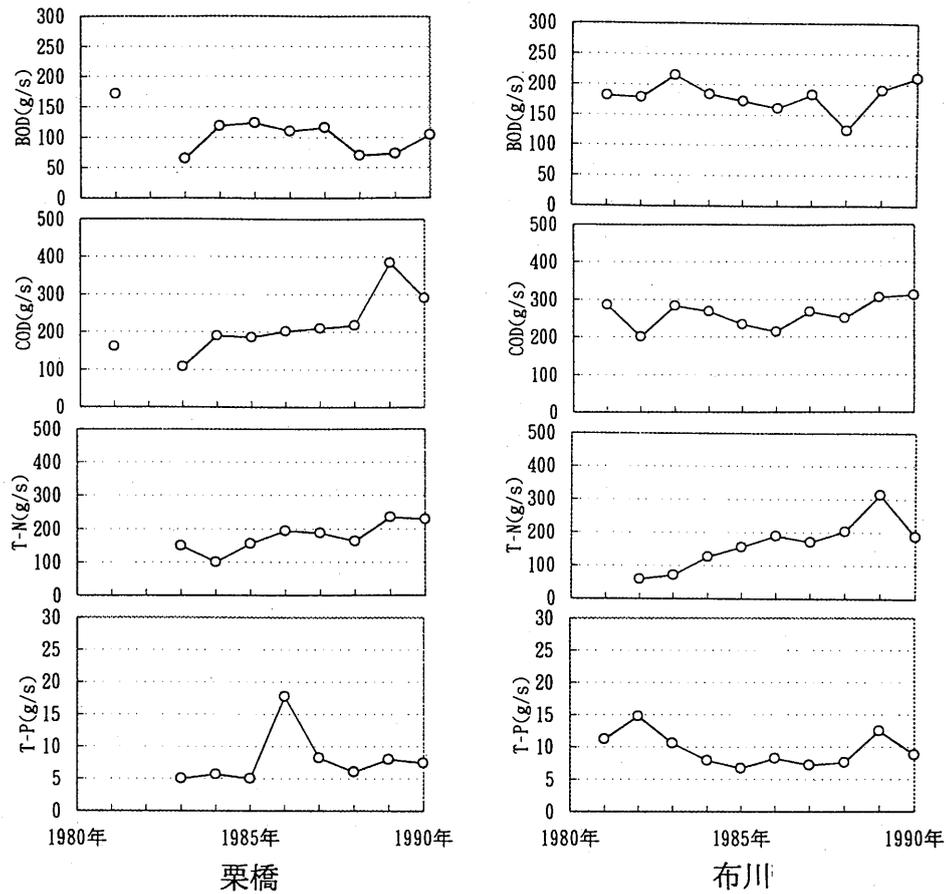
中流の代表地点栗橋、および下流の代表地点布川における水質負荷量の経年変化を図 2.3 に示す。ここでは観測日の日流量が10ヶ年平均低水流量 (1981年から1990年までの平均で両地点とも90 m³/s) 以下の水質負荷量を年平均してプロットした。同図によると、T-N負荷量が栗橋と布川両地点で、またCOD負荷量が栗橋で上昇傾向にあることがわかる。

2.4 水質負荷量の収支

1986年から1990年の非超過確率25%水質負荷量で、主要支川の流入・流出を考慮した利根川本川のBODとT-Nの負荷量収支を図 2.4 に示す。

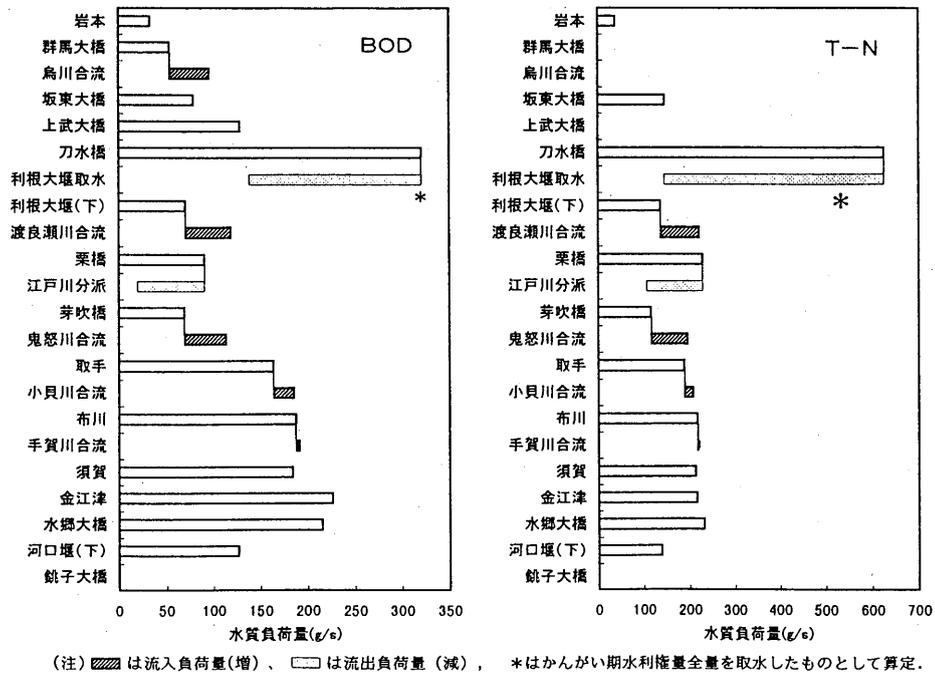
T-Nでは刀水橋地点を除いて収支関係がほぼ整合している。BODでは、刀水橋地点の負荷量が上・下流に比べて過大であるほか、江戸川分派点から取手の区間と河口堰湛水区間での流入負荷量の不足がみられる。この区間では他に大きな影響支川が無く、下水排水負荷量も小さい (表 2.1 参照)。これには、水質負荷量が同時観測負荷量ではなく確率負荷量であることなどによる原因が考えられ、今後の研究課題である。

刀水橋地点のBOD負荷量は以下の理由により過大であると考えられる。まず、上武大橋から刀水橋にかけての主要な流入負荷は早川、石田川、小山川からのものであるが、これら3川のBOD負荷量の合計は35 g/s程度 (利根川流総計画³⁾の代表水質と1990年想定低水流量より試算) であるため、この区間でのBOD負荷の増加量 (約190g/s) は過大である。また、刀水橋



(注) 観測日の流量が5ヶ年平均低水流量以下の水質負荷量の年平均値

図 2.3 水質負荷量の経年変化



(注) 〰️ は流入負荷量(増)、□ は流出負荷量(減)、* はかんがい期水利権量全量を取水したものと計算。

図 2.4 非超過確率25%水質負荷量の収支 (BOD, T-N, 1986~1990)

表 2.1 利根川下流下水排水負荷量 (1990年)

名 称	処理水量 (千 m ³ /日)	処理水質 BOD (mg/l)	排水負荷量 BOD (g/s)
手賀沼流域下水道	76.3	2.4	2.1
印旛沼流域下水道	238.8	1.7	4.7
霞ヶ浦常南流域下水道	79.5	2.0	1.8
取手・地方広域公共下水道	6.1(戸頭)	11.7	0.8
	7.5(県南センター)	4.5	0.4
栄町公共下水道	4.5	1.7	0.1
下総町公共下水道	未稼動		
神崎町公共下水道	未稼動		
佐原市公共下水道	7.6	1.7	0.1
小見川町・山田町広域公共下水道	0.6	6.7	0.05
東庄町公共下水道	未稼動		
銚子市公共下水道	4.5	5.7	0.3

(注)処理水量・水質は文献 4)による

と利根大堰(下)の区間でみると、この間の負荷量の減少は主として大堰の取水によるものであるが、仮にかんがい期水利権量の全量を取水したとしても180 g/s程度の減少(図 2.4 の網掛け棒、水質は1986年から1990年の5ヶ年平均75% BOD 1.4mg/l、水利権量は130m³/sとして算定)であることから、刀水橋から大堰にかけてのBOD負荷の低減量(約250g/s)は過大である。刀水橋地点の水質には直上流左岸へ流入する石田川の影響等が考えられるため、観測値に於て精査が必要である。

3. 今後の課題

今後は、水質関連データベースおよび水質予測システムの構築にむけて研究を進める予定であるが、今回の検討における課題は次のとおりである。

- (1)本検討でみられた負荷量収支の不整合についてその原因を明らかにする。
- (2)水質改善の重要施策である下水道整備はここ数年の間に整備率が大幅に上昇している。その効果を評価するためには、1991年以後のデータも収集・解析する。
- (3)各下水処理場の排水位置・排水量・排水水質等についても資料を収集し、その影響または水質改善効

果を分析する。

- (4)かんがい水の還元位置、水量・水質を把握し、その影響量も検討する。
- (5)河口堰による貯留の河川水質に対する影響について検討する。
- (6)水質負荷量収支の精度を上げるため、河川の水収支を正確に把握する。特に、今回の解析では中小支川について水量・水質の資料が不足していたため、それらの資料を収集する。

参考文献

- 1) 大久保卓也・村上昭彦(1995): 利根川における水質および流量の経年変化、用水と廃水、Vol. 37, No. 2, pp 5-12
- 2) 大久保卓也・村上昭彦(1995): 利根川における水質経年変化と流域環境変化の関連分析、用水と廃水、Vol. 37, No. 3, pp 16-25
- 3) 建設省関東地方建設局 利根川流域別下水道整備総合計画検討委員会(1985): 利根川流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書(資料編)
- 4) 建設省河川局監修(1990): 日本河川水質年鑑、山海堂



バイオオブロングを用いた新しい河川水浄化手法について

布村 明彦*・宮武 修司**・南 彰則***

1. はじめに

下水道の完備していない中小河川やその支流の生活排水路では、それらの水質を改善することは勿論、それらが流入する河川の望ましい水質を維持するため安価で効率のよい浄化方法が強く望まれている。しかし、浄化設備を排水路横や高水敷に設置する分離浄化方式では、用地確保の問題があり、都市部では特に水路内で直接浄化の要望が強い。従来の直接浄化法としては、礫間接触酸化法やプラスチック接触材を直接水路に充填する方法が知られているが、目詰まりを起し易く、降雨時の土砂流出による埋没、洪水時に流下断面を阻害する等の問題を抱えている。中でも洪水時の流下断面の確保は治水上特に重要である。そこで、通常時は浮力を有する不織布接触材が水草の様に林立し、BOD、SS等の低減を図ると共に、浄化区間の下流に自動転倒堰を設けることにより滞留時間を長くし、不織布との接触時間を長くし、洪水時には転倒堰が転倒しそれに伴って不織布接触材も流水により転倒して十分な流下断面積を確保することを特徴とする直接浄化法を考案したので報告する。

2. 直接浄化装置の概要

浄化装置は、浮力を持つ不織布接触材「バイオオブロング」の下部を撚り戻しを介して水底に固定し、複数本を一定間隔を設置する。水底中央部には散気管を設け、DOを上げてBODの酸化分解効率を高めると共に、上昇気泡に伴う二次流である旋回流を発生させSS成分の不織布接触材への濾過吸着効果を高めると共に溶解性汚濁質の不織布との接触効果を高める働きをする。(設置後時間の経過と共に不織布表面の微生物の付着活動が高まるので溶解性汚濁質に効果を挙げることができる。)また、下流端に自動転倒堰を併設することにより、通常時は浄化に必要な水路容積を確

保し、降雨時には一定流量以上になると自動的に転倒するよう調整することにより、堰及び接触材が転倒して十分な流下断面を確保する仕組みになっている。不織布接触材のサイズや充填本数、自動転倒堰の高さや数は、原水の水質、処理水量、目標水質、水路の大きさに合わせて自由に設計が可能である。

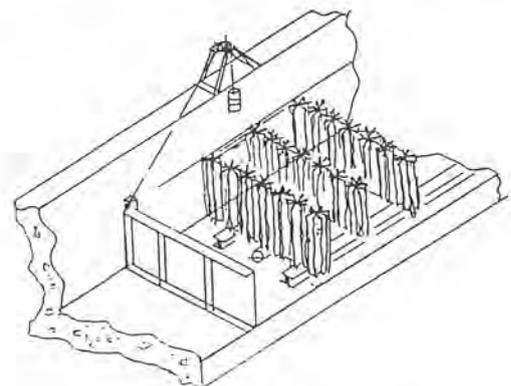


図-1 直接浄化装置の概略

3. 不織布接触材の概要

不織布接触材「バイオオブロング」は、自体が浮力を有する菊花断面の棒状立体不織布であり、概略形状は図-2の通りである。不織布は従来から水や空気のフィルター材として用いられているが、「バイオオブロング」には次のような特徴がある。

- ・フィルター効果により懸濁態BODやSSの除去に優れた効果を発揮する。
- ・通常時は自体のもつ十分な浮力により直立しているが、流速が早くなると転倒する。
- ・繊維への特殊表面処理により短時間に多量の微生物吸着機能を持つ。
- ・隙間をあけて配置するため、目詰まりしにくく水の疎通を妨げにくい。

* 布村 明彦 建設省関東地方建設局 企画部 企画調査官

** 宮武 修司 大阪府 土木部交通政策課(前 財団法人河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究員)

*** 南 彰則 日本パイリオン(株) 東京研究所

- ・既報の転倒式浄化網に比較して目詰まりが少なく維持、管理がより容易である。(河川環境総合研究所報告第1号 P35参照)

標準的な「バイオブロング」1本当たりのサイズは、直径10cm、花卉数8枚、長さ1mであり、組成はポリエステル繊維からなる。引張強度は100kg/本以上あり、保型性に優れ変形させても直ちに元の形に戻る性質がある。基材の平均孔径は250 μ mであるが、SS吸着濾過性能は生物膜付着により急激に上昇する。浄化水路に充填した場合、仮に不織布の空隙が完全閉塞しても水路全体の空隙率は92%と高いので目詰りの恐れは殆どない。また、総接触面積/全水体积の値は150 m^2/m^3 であり、礫間接触酸化の70 m^2/m^3 に比較して約2倍高い。(本実験設備の場合)

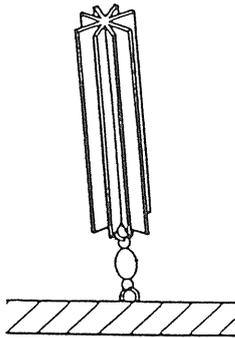


図-2 概略形状

4. 不織布接触材の転倒角度実験結果

「バイオブロング」(長さ30cm)の下部を実験用水槽の底部に定着し、平均流速と転倒角度との関係を調べた結果を図-3に示す。平均流速5cm/sec以下ではほぼ垂直を保っているが、流速と共に転倒角度は増し、流速30cm/secでは60°の転倒角度となる。定着用紐の長さを10cm以上にすれば流速50cm/sec以上で90°転倒することが確認された。

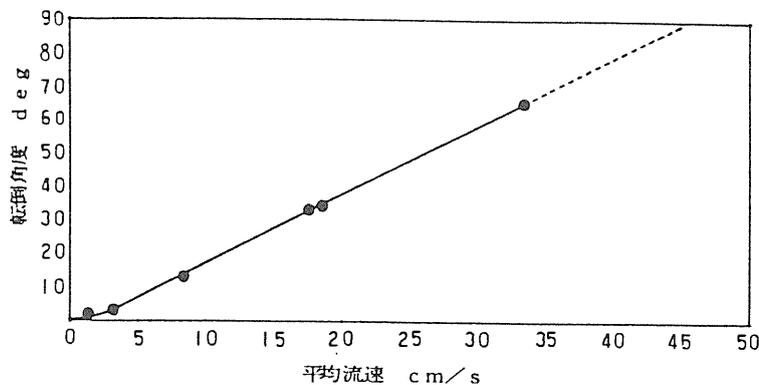


図-3 転倒角度と流速の関係

5. 現場実験結果と考察

実験場所は千葉県N市で行い、実験測定精度を上げるため浄化は直接河川内ではなく、高水敷に実験水路を設置し、生活排水の流入する排水路から取水して行なった。実験水路の規模は1.0mH \times 1.22mW \times 100mL(水深0.92m)であり、前報の転倒式浄化網の実験に用いたものと同じである。排水路から実験用水路への取水は5.5kw(max 1.03 m^3/min)の取水ポンプを用い、水中プロアは2.2kw(2.0 m^3/min)を用いた。散気管は水路中央部に設置され、曝気は水路入口から90m部まで行なった。不織布接触材は10cm ϕ \times 85cm長 \times 3,000本を100m水路に装着し、浄化効率の追求よりも洪水時の流下断面の確保を重視した設計になっている。

本実験の原水は、生活排水路と河川との合流地点で連続取水しているため水質の時間的変動が大きく、また、BODに比べSS値がかなり高く、無機粒子を多く含んでいるのが特徴である。従ってSSよりBOD値が高い一般の生活排水に比べるとやや浄化しにくい水と言える。浄化実験の開始はH8年2月であり、現在までに4回の測定が行われている。これらは冬期間のため水温は9.0 \sim 12.8 $^{\circ}\text{C}$ であり、引き続いて水温の高い時季の測定を行う予定である。原水のDOが高いので、当初曝気と非曝気を試みた結果、曝気を行なった方が透視度はかなり良好であった。これは曝気により旋回流が発生し、SS成分の接触材への濾過吸着機会が著しく増すためと推察された。

表-1に浄化実験結果を示す。実験を始めて日が浅く、また、水温が低いためか、生物学的な浄化は余り進行していない。しかし、SSの除去率は、66%(滞留126min)、97%(滞留224min)と高く、これに伴いBODの除去率も45%(滞留126min)、80%(滞留224min)と効率良く除去されている。

表-1 実験条件と結果

浄化水量 (m ³ /day) (ℓ/sec)	1 2 9 6 1 5 . 0			7 2 0 8 . 3		
滞留時間 (min)	1 2 6			2 2 4		
流 速 (cm/sec)	1 . 3 2			0 . 7 4		
採水日時	H 8 . 2 . 2 9 (11:30)			H 8 . 3 . 2 2 (9:40)		
項 目	流入水	処理水	除去率 (%)	流入水	処理水	除去率 (%)
水温 (°C)	9 . 5	1 0 . 0		1 2 . 4	1 2 . 3	
PH	7 . 2 6	7 . 3 1		7 . 0 5	7 . 0 0	
DO (mg/ℓ)	9 . 8 2	8 . 9 6		8 . 5 8	7 . 3 1	
透視度 (cm)	2 3	4 6		1 6	8 7	
BOD (mg/ℓ)	1 3 . 9	7 . 6	4 5	1 4 . 8	3 . 0	8 0
D・BOD (mg/ℓ)	5 . 2	4 . 4		—	—	
COD (mg/ℓ)	1 2 . 8	1 0 . 3	2 0	8 . 6	6 . 2	2 8
SS (mg/ℓ)	3 0 . 5	1 0 . 5	6 6	3 0 . 0	1 . 0	9 7
T-N (mg/ℓ)	6 . 4 1	6 . 3 3	1	5 . 8 8	5 . 1 0	1 3
NH ₄ -N (mg/ℓ)	2 . 4 9	2 . 1 4		2 . 5 0	1 . 6 0	
NO ₂ -N (mg/ℓ)	0 . 2 3 8	0 . 1 8 3		0 . 1 9 7	0 . 1 5 6	
NO ₃ -N (mg/ℓ)	2 . 9 6	3 . 2 2		2 . 3 8	2 . 6 4	
T-P (mg/ℓ)	0 . 5 8 1	0 . 4 1 2	2 9	0 . 6 0 6	0 . 3 1 2	4 9
PO ₄ -P (mg/ℓ)	0 . 3 2 9	0 . 2 6 5	1 9	0 . 2 6 0	0 . 2 2 8	1 2

6. おわりに

浮力を有する不織布接触材「バイオオブロング」は、平均流速が50cm/sec以上になると90°転倒することが水理実験から明らかになった。現場浄化実験の結果、懸濁態BOD及びSSは接触材のフィルター効果のより効率良く除去されることは確認されたが、浄化水質は十分とは言えない。更に継続実験を行なってデータを積み重ね、装置の改良を行なう予定である。

最後に技術御指導いただいた河川環境総合研究所の吉川先生、水理実験に御協力いただいた早稲田大学の佐々木氏、浄化実験場所を御提供いただいた関東地方建設局江戸川工事事務所に心より感謝致します。

礫間接触酸化手法による河川水質浄化の現状

福井 経一*・斉藤雄三郎**・武田 宏***
木村 徹****・木下 猛*****

要 旨

本研究は、公共水域の水質改善の直接浄化対策として、これまで最も多く用いられてきた礫間接触酸化手法について、実績データに基づいてその有効性を検討し、浄化施設の計画及び設計手法の確立を目指すものである。さらに将来的には、礫間接触酸化手法に関する研究結果を他の直接浄化手法へ応用し、適正な直接浄化手法の確立に資するものである。

今回は、研究の初段階として、礫間接触酸化施設の除去効果の現状、曝気の効果、付着・堆積汚泥の性状等について調査した。

その結果、特に曝気付き礫間接触酸化施設においてBOD除去率が低くなると、曝気槽における付着汚泥の剥離が関与していることが明らかとなった。このことから、今後曝気方法および施設内の汚濁物質の収支について、より適切な検討を行うことが必要と思われる。

1. はじめに

水質改善が遅れている河川、湖沼において、河川環境の改善、自然生態への影響の軽減、親水性の向上、水道水源の水質保全などの目的から、下水道整備などの流域対策に加えて、河川の直接浄化対策が鋭意推進され、これまでに実績を多く積み上げている。

これまでの直接浄化の実績では、礫材、プラスチック材、木炭等をろ材とした接触酸化手法が最も多く用いられている。平成5、6年度に建設省が実施した、「河川、湖沼における直接浄化」に係わるアンケート調査結果では、回答のあった全施設の約9割が浸漬型接触酸化法であり、接触材別にみると礫材が全体の約

4割と最も多くなっている。

礫間接触酸化手法は、昭和49年に建設省京浜工事事務所の手によって、多摩川の中流域で下水処理場の2次処理水を対象に実験的に実施され、昭和56年には、多摩川支川の野川において実施が全国に先駆けて建設された。その後、礫間接触酸化手法は実施あるいは実験施設として各河川で建設され、貴重なデータが現在までに蓄積されている。

しかしながら、その水質試験は各施設ごとに個別に行われており、調査時期、調査地点、調査項目などは統一されていないため横並びの評価が難しい状況にある。そのため、礫間接触酸化手法の設計、計画に関する不明点も未だ残されているように思われる。

そこで、本研究は実績の多い礫間接触酸化手法について、浄化手法及び水質調査手法の確立を目指すとともに、礫間浄化施設の設計、計画、維持管理に係わる留意事項を明らかにすることを目的とするものである。

さらに、この研究成果は、他の直接浄化手法への応用が可能と考えられ、将来的には適正な直接浄化手法の確立に資するものである。

これまでに筆者らは、建設省が行ったアンケート調査と筆者らが独自で収集した既往の水質試験結果に基づいて、以下の項目について調査・検討を行った。

- ① BOD除去効果の現状
- ② BOD除去率への影響因子
- ③ 曝気の有効性
- ④ 施設内の汚泥の性状

本文は、研究の第一報として、その調査、検討内容について記すものである。

* 福井 経一 (財)河川環境管理財団 技術参与
** 斉藤雄三郎 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第一部長
*** 武田 宏 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長
**** 木村 徹 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 主任研究員
***** 木下 猛 パシフィックコンサルタンツ(株) 水工部

2. アンケート調査によるBOD除去効果の検討

昭和63年度，平成5年度，平成6年度の3回にわたり，建設省，各都道府県および市町村を対象として，建設省が実施した河川浄化に係わるアンケート調査に加えて，筆者らが独自で収集した河川浄化の水質試験結果を用いて，礫間接触酸化施設のBOD除去効果について検討した。

流入BODとBOD除去率の関係図を図2・1，図2・2にまとめた。図2・1は礫間接触酸化手法に曝気を行った施設での流入部と流出部でのBODの関係を示したものであり，図2・2は曝気を行わない施設のもので，各施設での水質試験結果を全てプロットした。同図は，調査時期について3つの季節別に分類してプロットした。

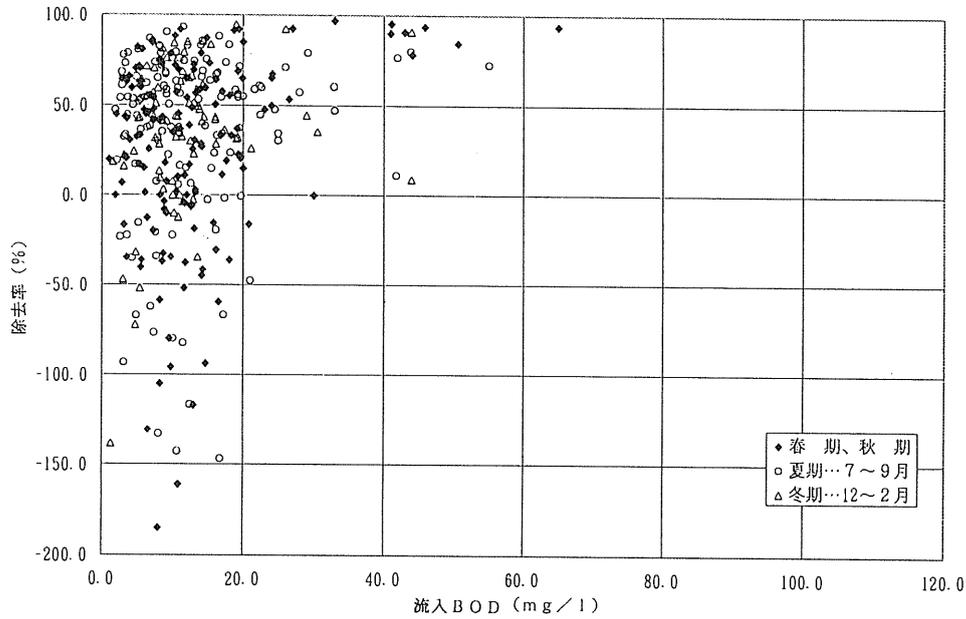


図2・1 礫間接触酸化法（曝気あり）

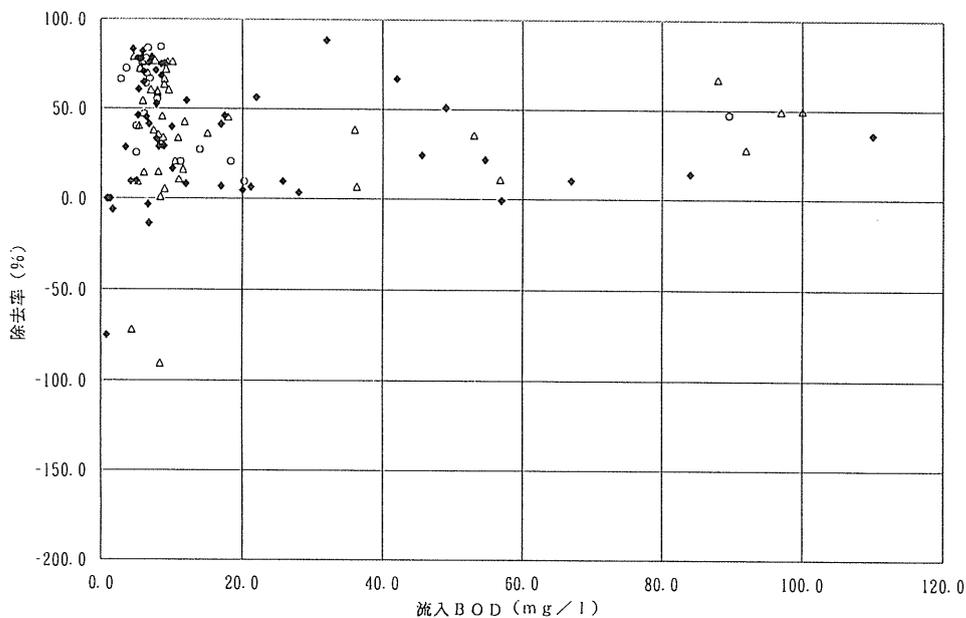


図2・2 礫間接触酸化法（曝気なし）

同図から次のことが伺える。

- ①曝気を行っている場合、除去率は90%以上からマイナスまでと広く分布している。これに対し、曝気を行わない場合の除去率の分布域は狭く、ほぼ80%から0%までに分布しており、特にマイナスの除去率がわずかである。
- ②曝気を行っている場合、流入BODが大きくなると除去率は高くなる傾向を示しているが、曝気を行わない場合、流入BODによって除去率に大きな差異は見られない。
- ③季節別に見た場合は、明確な傾向は見受けられない。

同図は、曝気の手法、空気量等の分類は行わず、曝気の有無だけを目安におおまかに分類したものである。また、滞留時間、水温等の諸条件も各データごとに異なっている。そのため明確な結論には至らないものの、曝気の効果について次のような傾向が伺える。すなわち、曝気を行うことによって、高い除去率が期待できるものの、逆に流入部より流出部でBOD値が高くなる場合が生じる。このことは、流入水質が低濃度の際の曝気手法のあり方について再検討の必要性を示している。

次に、同じ水質調査資料に基づいて、BOD除去率ごとに調査データ数を図2・3、図2・4のようなヒストグラムに整理した。同図は、流入BODを図中の凡例に示すような6段階に分け、BOD除去率は10%間隔に分割した。

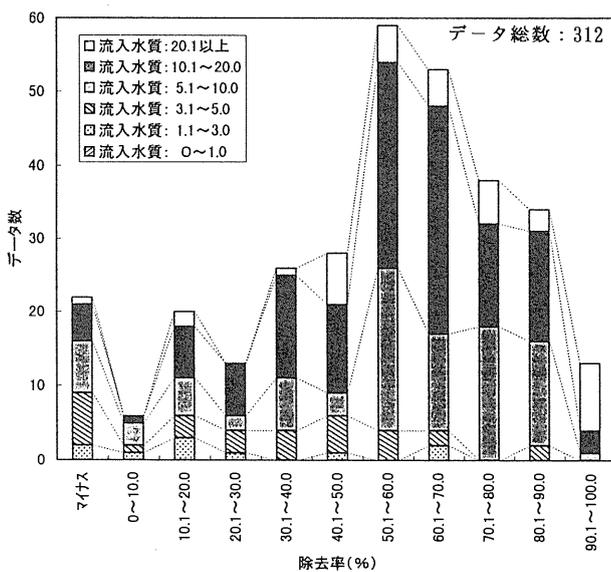


図2・3 礫間接触酸化法（曝気あり）

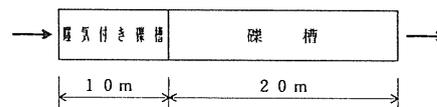
同図より、曝気を行った場合、マイナス除去率を除くと、除去率は50~60%程度でピークとなっている。曝気を行わない場合には、明確なピークはないものの、曝気を行った場合に比べて除去率は低い傾向にある。

3. 曝気付き礫間接触酸化施設

曝気付き礫間接触酸化施設の代表として、荒川第一調節池浄化施設と古ヶ崎浄化施設を対象として、特に曝気の効果について調査、検討を行った。両施設の概要は、以下のようでありである。

① 荒川第一調節池浄化施設

荒川第一調節池浄化施設は、下水処理水の再処理のための施設である。



② 古ヶ崎浄化施設

古ヶ崎浄化施設は、比較的汚濁の進行した都市河川を対象とした浄化施設である。

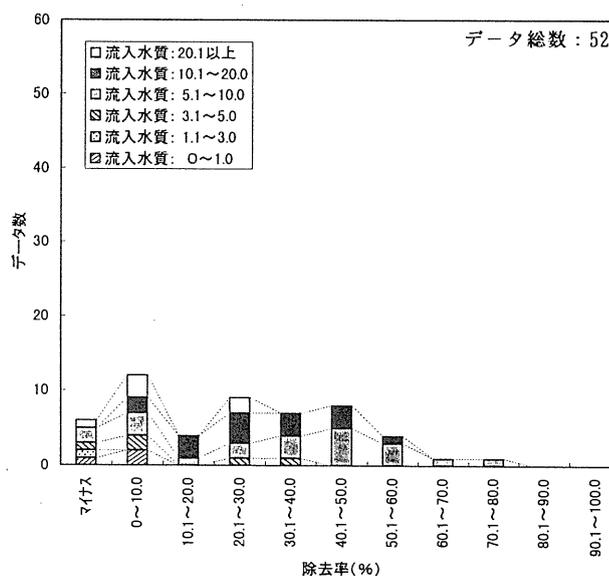


図2・4 礫間接触酸化法（曝気なし）

3.1 各水質項目の相互関連

3.1.1 BOD除去効果との相関性

一般に、礫間接触酸化施設などでのBOD除去率は、水温、滞留時間、流入BOD、流入DOに影響されるといわれている。そこで、古ヶ崎浄化施設を対象に、BOD除去に関与する項目として表3・1に示すものを取り上げて、それらとBOD除去効果との相関関係を調べた。

その結果、相関係数は全て0.6以下となり、今回収集した古ヶ崎浄化施設の水質調査結果からはBOD除去率に関与する項目は見出せなかった。0.6程度の相関係数となったのは以下の2項目である。

- ① 流入BODと流出BOD
- ② SS除去率とBOD除去率

3.1.2 曝気部と無曝気部における各水質項目の変化

各水質項目（BOD、D-BOD、SS、DO）について、流下方向の変化量を曝気部と無曝気部に分けて、各水質項目相互の関係を調べた。

- ・曝気部の変化量 = 流入部の水質 - 曝気部出口の水質
- ・無曝気部の変化量 = 曝気部出口の水質 - 流出部の水質

以下、変化量はΔで示すこととする。ΔDOとΔBODの関係を図3・1及び図3・2に示す。

図3・1より曝気部においては流下方向のBODの変化にかかわらず、DOは増加する傾向にある。一方、無曝気部では図3・2よりDOは減少している。

図3・3及び図3・4は、ΔSSとΔBODの関係をそれぞれ曝気部と無曝気部に分けて示したものである。図3・3より、曝気部ではΔSSが小さいとΔBODも小さく、ΔSSが大きくなるとΔBODも大きくなる傾向にある。また、曝気によってΔSS、ΔBODがともに小さくなる（マイナス値）場合も多い。無曝気部でも同様な傾向が見られるが、マイナス値はΔSS、ΔBODとも比較的少ない。

図3・5及び図3・6は、ΔSSとΔD-BODの関係をそれぞれ曝気部と無曝気部に分けて示したものである。図3・5より、ΔD-BODは図3・3のように曝気によって増加することはほとんどない。また、図3・3に見られたようにΔSSに伴ってΔBODが変化するような傾向も、ΔD-BODでは見られず、ΔSSとΔD-BODとの明確な関連性は伺えない。ΔD-BODは、ほとんどの場合において、流下（時間経過）に伴って減少している。この傾向は、無曝気部（図3・6）でも同様であ

る。

3.2 曝気の有効性の検討

3.2.1 流下方向の水質変化

礫槽内部で生じている水質変化について、曝気付き礫部（以下、曝気部と呼ぶ）と曝気を行わない礫部（以下、無曝気部と呼ぶ）では性状が異なると予想される。そこで、荒川第一調節池浄化施設と古ヶ崎浄化施設における流下方向のBOD、ATU-BOD、SS、NH₄-Nの変化を調べた。その結果を図3・7～3・10に示す。

同図は、浄化効果が高いケース（ケース1）として、BOD除去率80%以上、浄化効果が低いケース（ケース2）として除去率30%以下の2種に分類し、また、季節は図中の凡例に示すとおり3つに分類した。

同図より、以下のことが考察される。

- (1) 高い浄化効果（ケース1）が得られた場合では、曝気部出口においてSSとBODの除去率が高く、無曝気部でさらに効果的に除去されている。しかし、除去効果が低い（ケース2）場合は、ほとんどの場合、曝気部出口でSSとBODの除去率は低くなっているため、無曝気部である程度SSやBODが除去されるものの、施設全体での除去率は低くなっている。
- (2) BODについて、図3・8、図3・9のBOD除去率30%以下（ケース2）の場合について比較してみると、曝気部出口においてBODが増加する原因は、主としてN-BODの増加によるものと判断される。この傾向は、荒川第一調節池浄化施設では、特に冬期に顕著である。
- (3) NH₄-Nは、ケース1では全体的に低い値となっている。曝気部出口で、NH₄-Nが減少している傾向は、ケース1、ケース2とも同様である。

表 3・1 単相関計算に用いた項目

除去効果の項目	除去効果に関与すると思われる項目		
流出BOD (mg/l)	流入水量 (m ³ /s)	流入SS (mg/l)	流入NH ₄ -N (mg/l)
BOD除去率(%)	空気量 (m ³ /min)	流入VSS (%)	SS 除去率(%)
	滞留時間 (hr)全体	流入DO (mg/l)	D-BOD除去率(%)
	流入水温 (°C)	流入BOD (mg/l)	
	流入pH	流入D-BOD (mg/l)	

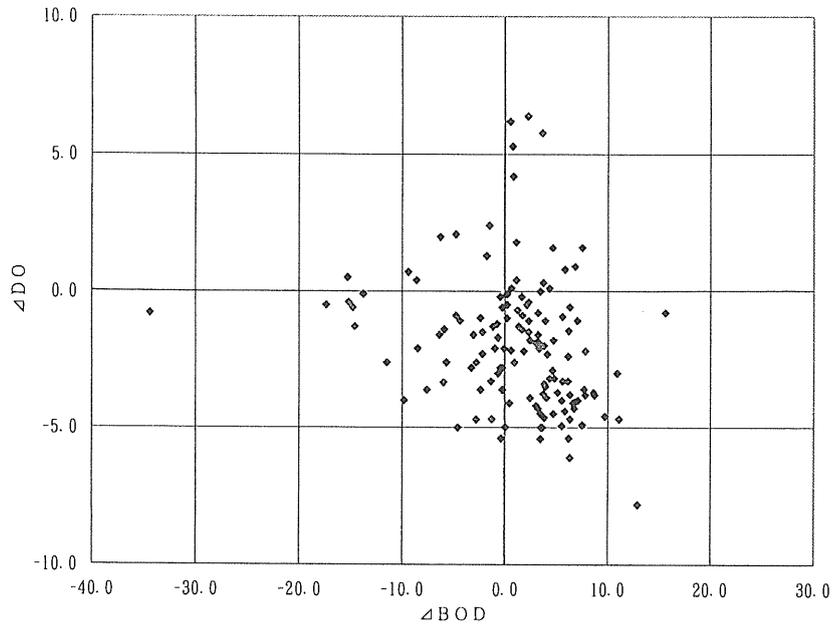


図 3・1 $\Delta DO - \Delta BOD$ (流入部-曝気部出口)

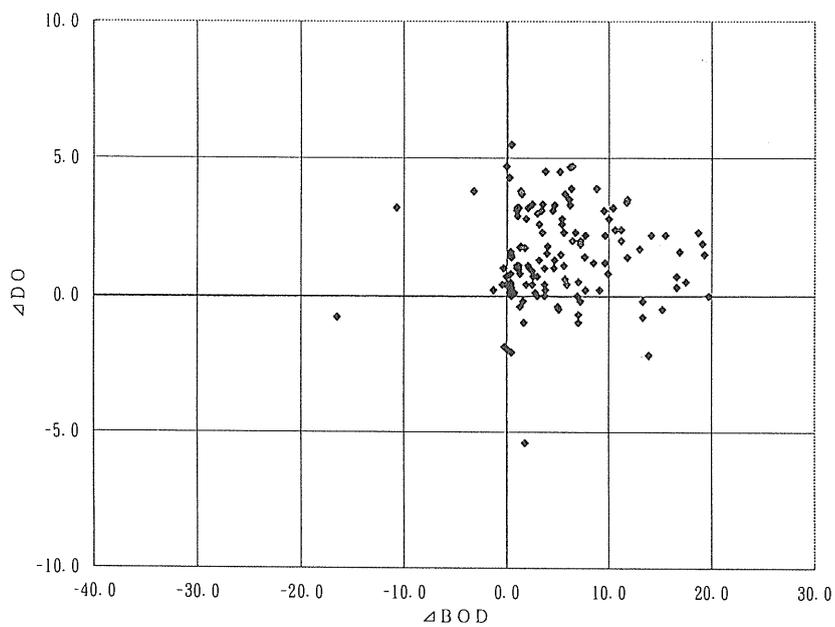


図 3・2 $\Delta DO - \Delta BOD$ (曝気部出口-流出部)

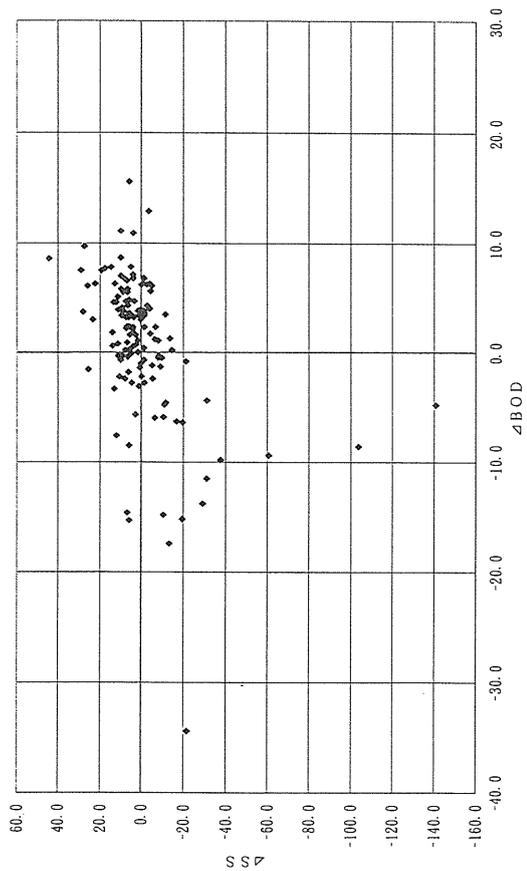


图 3・3 $\Delta SS - \Delta BOD$ (流入部—曝気部出口)

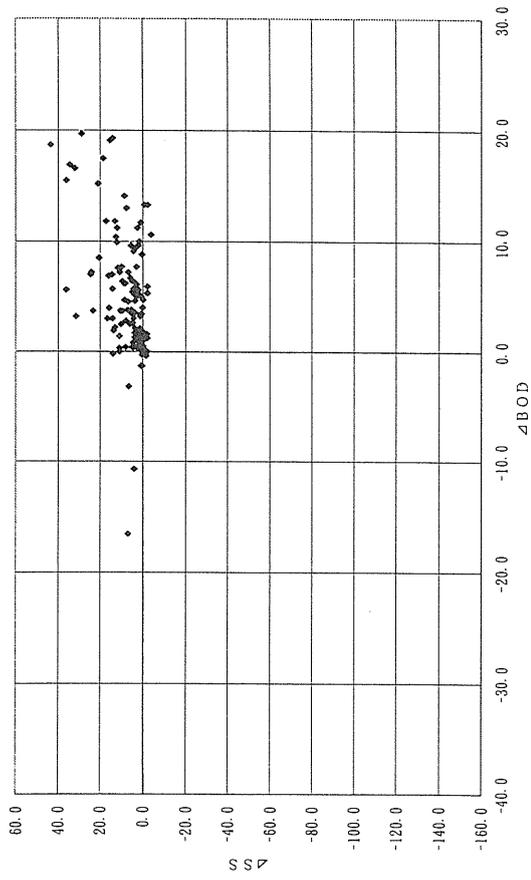


图 3・4 $\Delta SS - \Delta BOD$ (曝気部出口—流出部)

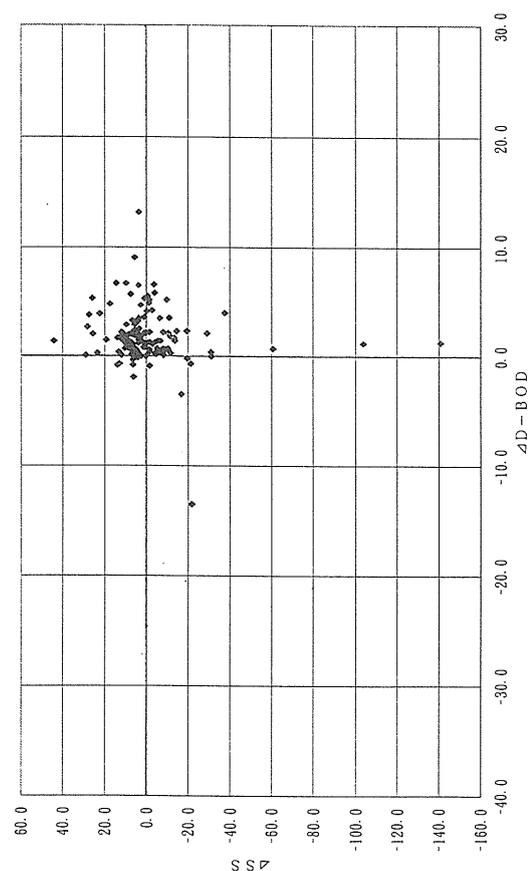


图 3・5 $\Delta SS - \Delta D - BOD$ (流入部—曝気部出口)

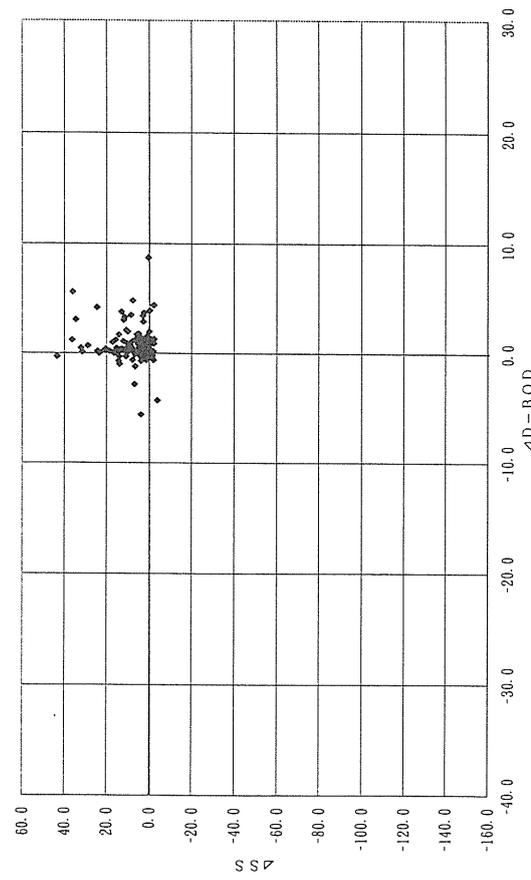


图 3・6 $\Delta SS - \Delta D - BOD$ (曝気部出口—流出部)

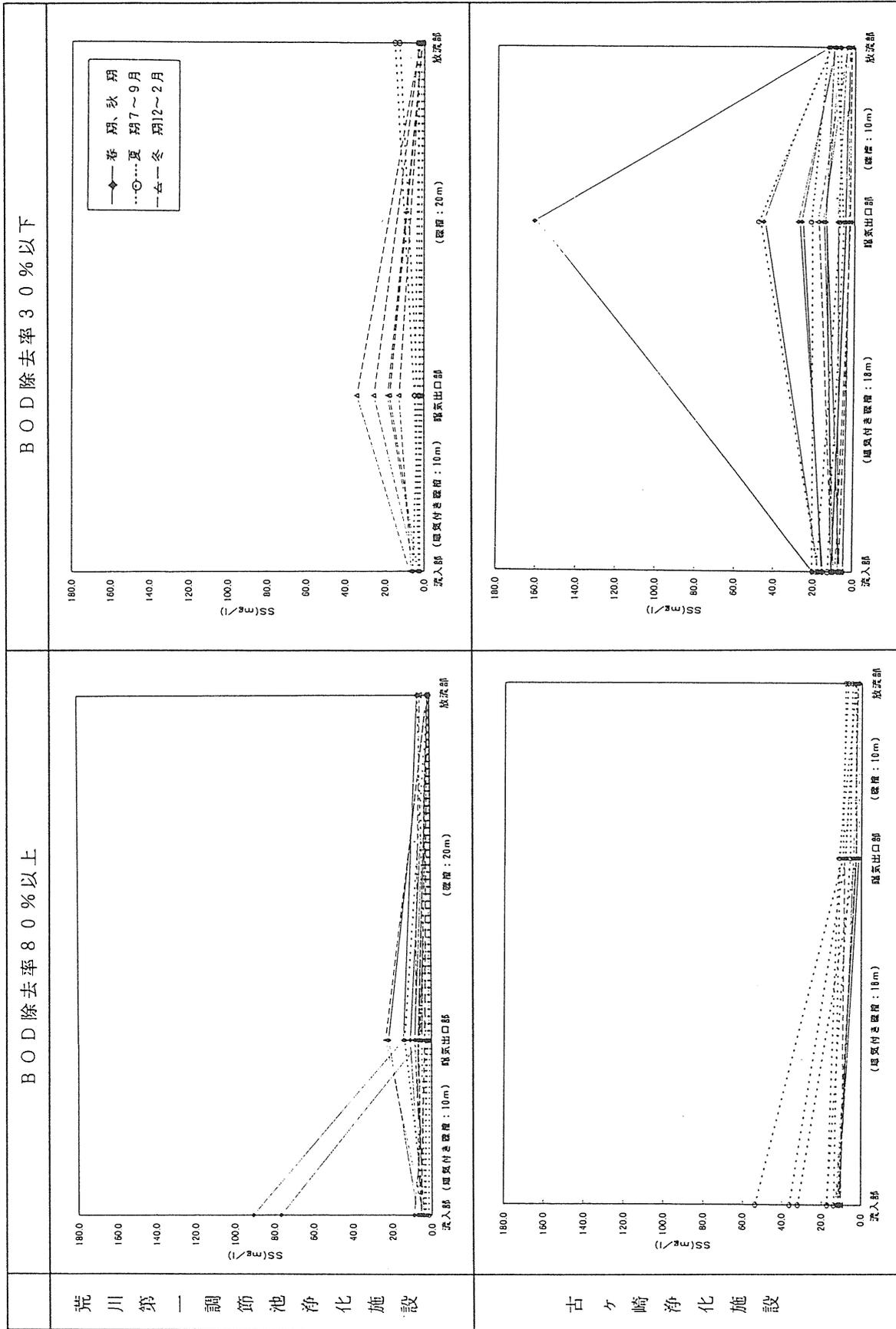


図 3・7 曝気付き礫間接触酸化施設の流下方向のSS変化

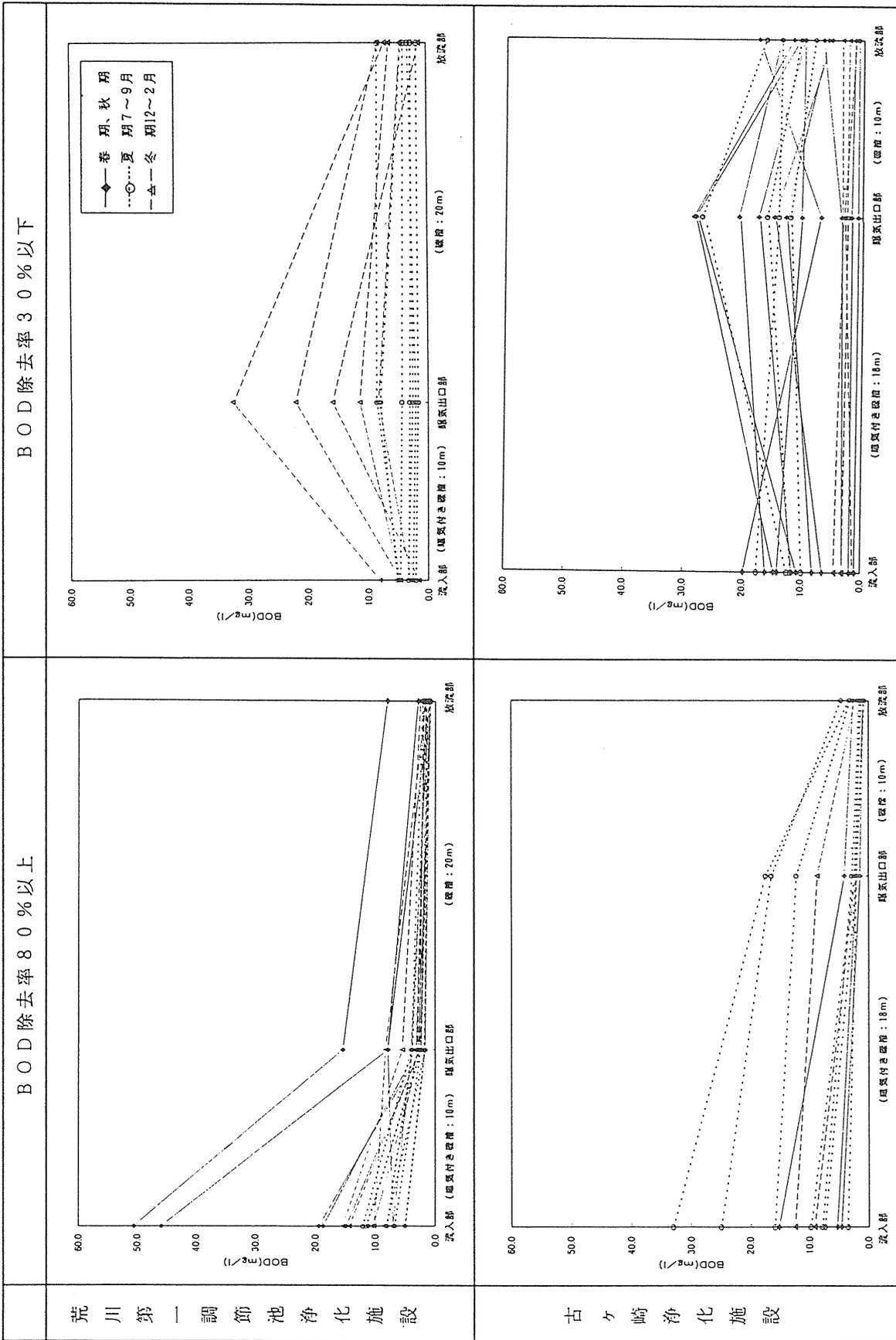


図3・8 曝気付き曝槽間接触酸化施設の流下方向のBOD変化

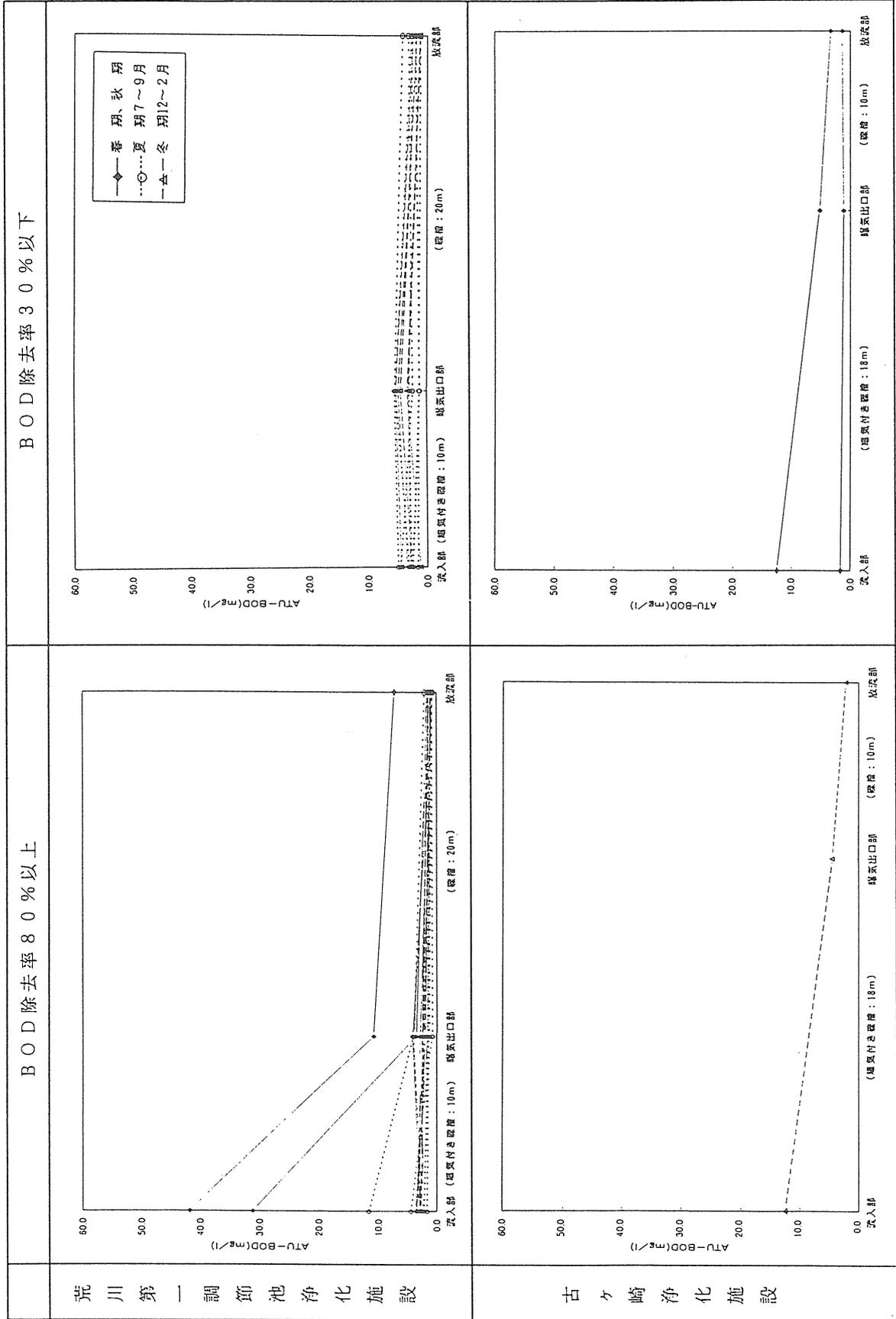


図3・9 曝気付き礫間接触酸化施設の流下方向のATU-BOD変化

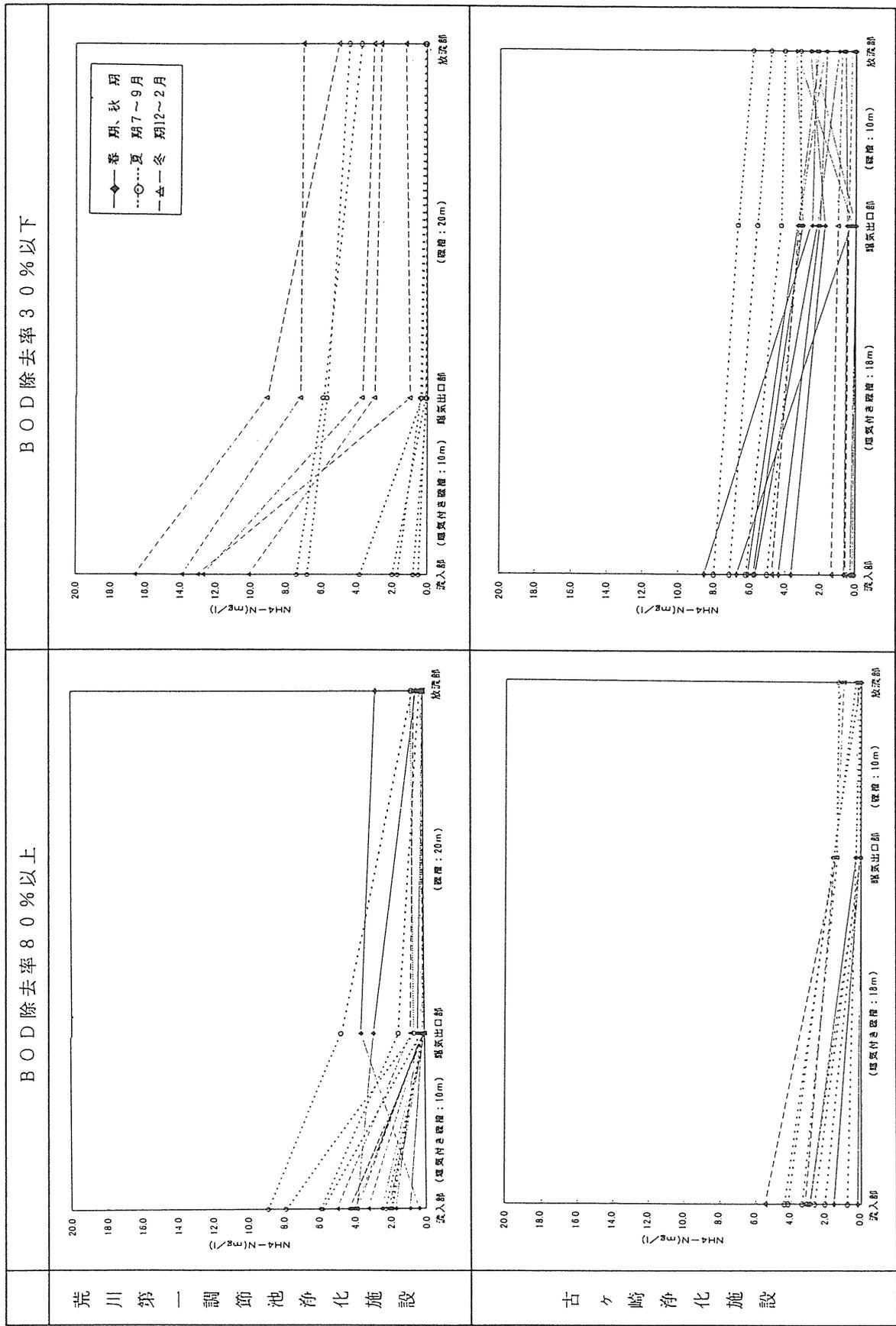


図3・10 曝気付き礫間接触酸化施設の流下方向のNH₄-N変化

3.2.2 水質時系列変化

曝気付き礫間接触酸化施設内での水質の時間変化を調べるため、古ヶ崎浄化施設を対象として、SSとBODの経年変化図を作成した。(図3・11, 3・12参照)

図3・11, 3・12中の ←→ 印は、長期にわたって流入部より曝気部出口での水質が悪化している区間を示している。これより、次の傾向が見られた。

- ① SS, BODとも明確な周期性は見られない。
- ② 流入部より曝気部出口の水質が悪化する時期は、SS, BODともほぼ同時期(H2.4～H2.9, H3.3～H3.6)に生じている。

この期間は、曝気槽内でろ材周辺の付着物量が過度となったものと考えられる。

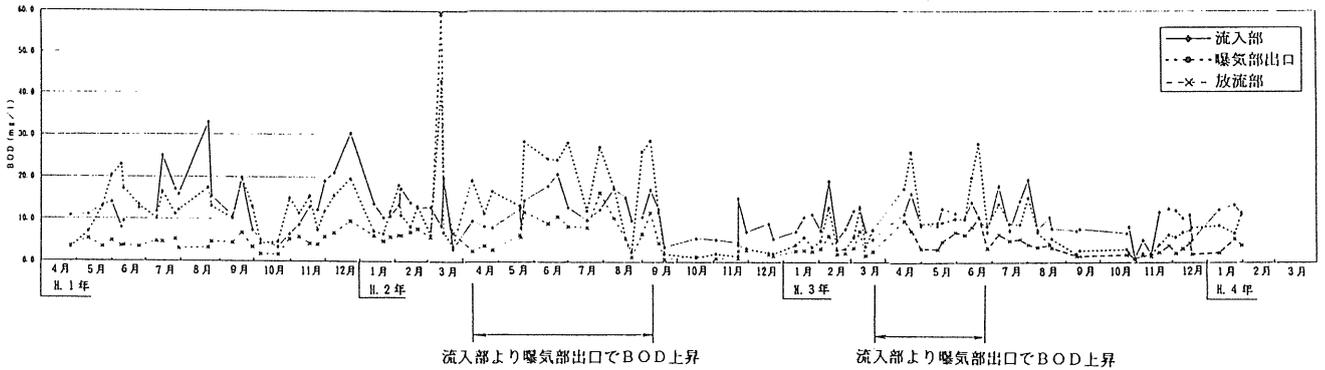


図3・11 古ヶ崎浄化施設 (BOD経年変化)

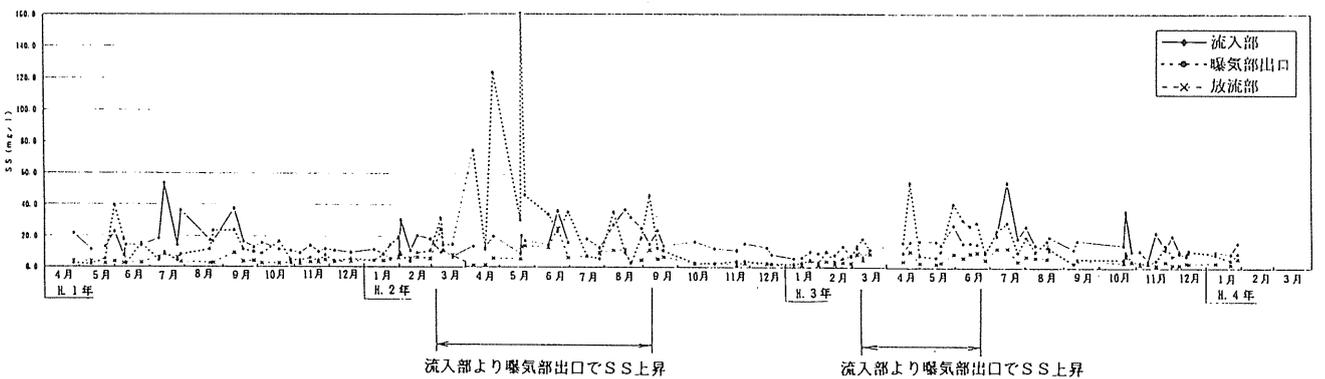


図3・12 古ヶ崎浄化施設 (SS経年変化)

4. 礫槽内の付着・堆積汚泥

4.1 付着・堆積汚泥の強熱減量

現在、浄化施設内に堆積した汚泥は、①洪水時にフラッシュ、②下水道処理、③産業廃棄物処理などの処理が行われている。維持管理の容易性、経済性から考えると①の方法が最も有効と思われる。しかし、この場合河川や流末の湖、海域など公共水域への影響が懸念される。

そこで、礫槽内の付着汚泥又は堆積汚泥の強熱減量について若干の検討を行った。既往の強熱減量試験結

果がある野川浄化施設(曝気を行わない礫間接触酸化施設)を対象として、一般的な河川の底質の強熱減量との比較を試みた。その結果を表4・1にまとめる。

なお、参考のため同表には港湾における汚泥除去基準(浚渫基準)を併記した。

これより、野川浄化施設においては、付着汚泥より堆積汚泥で強熱減量が高いことから、堆積汚泥により有機物が多く含まれているものと考えられる。また、河川底質の強熱減量と比較すると、付着汚泥の強熱減量はより小さい場合も見受けられるが、全般的に浄化施設内の汚泥の強熱減量は河川の底質より高い傾向にある。

表 4・1 付着・堆積汚泥の強熱減量

区 分		強熱減量 (%)	備 考	
①浄化施設	付着汚泥	最大	29.6	野川浄化施設
		最小	4.0	
		平均	10.8	
	堆積汚泥	最大	59.2	
		最小	17.3	
		平均	24.9	
②河川の底質(寝屋川, 六角川)		12 ~ 13	感潮域データが主	
③港湾における汚泥除去基準		15 ~ 20	名古屋港, 大阪港 等	

4.2 堆積汚泥中のVSS量

浄化施設内に堆積する汚泥中に含まれる有機物量は、年間どの程度累積されるのか野川浄化施設を対象として試算した。試算は次の2つの方法で行った。

試算. 1

堆積汚泥高から年間の堆積汚泥中のVSS量を試算する。

野川浄化施設の見かけの堆積汚泥高はH 4.4.20に平均40.3cm, H 5.2.25に平均73.9cmとなっており、年間約35cm増えている。

堆積汚泥(SS)中に含まれる有機物量(VSS)は、

H 4.2.27の調査結果から平均約20%と推定される。

また、堆積汚泥の比体積(見かけの単位体積重量の逆数)は、一般値として 20×10^{-6} (g/m³)、礫層の空隙率は施設設計値から40%とすると、年間の堆積汚泥中のVSS量はおおよそ次のように試算できる。

$$\begin{aligned} \Delta H \times A \times \frac{VSS}{SS} \times \gamma \times \frac{1}{\rho} \\ &= 0.35 \times 13,600 \times 0.2 \times 0.4 \times \frac{1}{20 \times 10^{-6}} \\ &= 19.0 \times 10^9 \text{ (mg/371日)} \\ \text{年換算} \\ \Rightarrow 19.0 \times 10^9 \times \frac{365}{371} &\approx 18.7 \times 10^9 \text{ (mg/年)} \end{aligned}$$

ΔH (m/371日)	0.35	H4.2.20~H5.2.25 (371日) までの見かけの汚泥高の増加量
A (m ²)	13,600	野川浄化施設の平面規模 (92.0m × 18.5m × 8槽)
ρ (m ³ /gSS)	20×10^{-6}	堆積汚泥の比体積(一般値)
γ (%)	40	礫槽の空隙率
VSS/SS	0.2	H4年底質試験結果(平均値)

試算. 2

野川浄化施設の流入部と流出部におけるSS値の差分から、年間の堆積汚泥中のVSS量を試算する。H 4.6.30からH 5.2.2までのSS値をVSS値に換算する。こ

のときSS/VSS比が不明なので、底質試験結果からこれを設定することとする。

VSS負荷の収支の残差を時間的に積分すれば、堆積したVSSの類型が求められる。

SS _{in} - SS _{out} 又は VSS _{in} - VSS _{out} (mg/l)	試験値	流入部と流出部のVSSの差 〔H4. 6. 30～H5. 2. 2(217日)までのSS値(6データー)を底質試験のVSS/SS比を基にVSS値に換算〕
Q (m ³ /s)	測定値	流入、放流流量の平均値
t (s)	—	試験日から次の試験日までの期間

$$\Sigma\{(VSS_{in} - VSS_{out}) \times Q \times t\}$$

$$= 17.4 \times 10^9 \text{ (mg/217日)}$$

$$\begin{aligned} &\text{年換算} \\ \Rightarrow &17.4 \times 10^9 \times \frac{365}{217} = 29.3 \times 10^9 \text{ (mg/年)} \end{aligned}$$

上記のような堆積汚泥中のVSS量に関する2つの試算は、全く異なる方法によるものであるが、その結果は大きくは異ならない。試算. 1より試算. 2の方が大きな値となっているのは、試算では堆積した汚泥の他、礫材に付着した汚泥についても加算しているためと思われる。

但し、野川浄化施設の見かけの堆積汚泥高を見ると、H4年からH5年までの間には35cmと増えているものの、H5年からH7年の間にはほとんど変化がない。このことは、試算. 1の精度の低さを示している。従って、浄化槽内で生じている実際の現象はより複雑と考えられ、より詳細な水質及び底質の調査を行う必要がある。

5. 考 察

以上の礫間接触酸化手法に関する検討結果を要約すると次のようである。

- ① 調査結果より、曝気を行った場合、高い除去率が得られる面もあるが、マイナスの除去率も多くある。
- ② 曝気付き礫間接触酸化施設で除去効果が低い場合、曝気部出口で水質(SS, BOD)が悪化している。曝気部出口でのBODの上昇は、主にN-BODの上昇によるものである。
- ③ ②の原因として、曝気部におけるろ材付着物の剥離が考えられる。剥離によってSSが上昇することが、N-BODの上昇の原因と考えられる。
- ④ ③について、NH₄-N等は曝気部出口で減少していることから、BOD試験(5日間放置期間)中に硝化が生じたものと考えられる。
- ⑤ ①～④の傾向は、荒川第一調節池浄化施設では、特に冬期に顕著である。

⑥ ②のように曝気部出口でのBODが上昇する期間は、曝気槽内でろ材周辺の付着物量が増えて、付着物の内部が嫌気化して付着力が低下し、さらに曝気によって剥離が助長されたものと考えられる。

⑦ 野川浄化施設では、浄化施設内の汚泥の強熱減量は全般的に河川の底質より高い傾向にある。

6. おわりに

今後の公共水域の水質浄化は、「清流ルネッサンス21」に見られるように、流域対策と直接浄化対策あるいはソフト対策とハード対策が総合的かつ効果的に推進されることが期待される。

しかしながら、流域対策が完備して目標を満足するまでには長期を要すると思われ、緊急的に公共水域の水質改善を行っていくためには、礫間接触酸化施設などの直接浄化施設を整備することが有効と考えられる。

そのためには、まずこれまでの実績を体系化して知見を取りまとめるとともに、今後ともそのときどきの最高の知見に基づきながら、各河川の状況に応じて恒久的施設、暫定的施設、実験的施設として浄化施設を位置づけながら、整備を進めることが望まれる。

参考文献

- 1) 宗宮 功編著(1991): 自然の浄化機構(技報堂出版)
- 2) 楠田 哲也編著(1994): 自然の浄化機構の強化と制御(技報堂出版)
- 3) 衛兵藤 俊司(1993): 河川浄化と礫間接触酸化技術について—河川・湖沼・水辺の水質浄化, 生態系保全と景観設計, p88

II. 多自然型川づくりに関する研究

多自然型護岸の実験的研究

芦田 和男*・大槻 英樹**・大本 雄二***

要 旨

著者らは、移動床水理模型実験により多自然型護岸のもつ水理特性、防災機能を明らかにする研究を進めている。

実験は90°単弯曲河道を対象に、河床勾配、法面勾配、法覆い工の粒径、根固め工の有無等をパラメータに、一定流量を通水することにより行い、側岸侵食、河床形状等を観測した。その結果をもとに法覆い工の粒径選定に資することのできるとりまとめを行うとともに、河道内における詳細な流速測定を行い、河床変動を伴った90°弯曲河道のもつ水理特性について考察を加え、側岸侵食状況との関連について言及した。

また、多自然型護岸材料として期待されるテングバグについて、施工時の敷設角度に関する基礎的な研究と、弯曲部に敷設した場合の護岸機能の検証を行った。

1. 緒 言

河川が本来有している生物の良好な生育環境に配慮し、かつ美しい自然景観を保全、創出する川づくり、いわゆる多自然型川づくりは、人々が豊かな自然に触れる機会を求めることによる水辺空間の重要性が見直される中で、着実な拡がりを見せている。

しかし、河川整備の一つの大きな目的である河岸保護による洪水時の安全性の確保という点について、多自然型護岸の有する防災機能には不明な点があり、如何なる河道形状、水理条件のもとで、どのような多自然型護岸が適用できるかの判断の拠り所となるものがないのが実状である。

本研究は、このような背景のもと、多自然型護岸の水理特性と適用性について、90°の単弯曲河道を対象にした移動床水理模型実験をベースにした研究を実施することにより、それらの判断材料を提供すること

を目的としている。

なお本報告は、前報²⁾の報告後に行った研究成果を中心にまとめた第二報である。

2. 河床変動を伴った弯曲部流れの水理特性

2.1 実験の概要

90°単弯曲河道の側岸部を法覆い工、法止め工により固定し、低水敷部を移動床として定常流を長時間通水した後、河床形状が概ね平衡状態に達した後に、河床形状、流速の測定を行い、低水路法面に作用する外力等の評価を試みた。

実験に用いた模型装置を図2・1に示す。模型は無歪みで縮尺1/50程度を想定しており、90°の弯曲部の上下流にそれぞれ5m、4mの直線区間を設けている。模型諸元ならびに縮尺1/50としたときの実物換算値を表2・1に整理している。

表2・1 模型諸元

項 目	設 定 値	縮尺=1/50 とすると
河 道 幅	$B = 2.5\text{m}$	$B = 125\text{m}$
高 水 敷 高	$h = 0.1\text{m}$	$h = 5\text{m}$
弯曲部中心角	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 90^\circ$
弯曲部曲率半径	$r_c = 2.05\text{m}$	$r_c = 102.5\text{m}$
上流直線区間長	$l_o = 5.0\text{m}$	$l_o = 250\text{m}$
下流直線区間長	$l_i = 4.0\text{m}$	$l_i = 200\text{m}$
流 量	5 l/s 100 l/s	$90\text{ m}^3/\text{s}$ $1770\text{ m}^3/\text{s}$

* 芦田 和男 (財)河川環境管理財団 大阪研究所長

** 大槻 英樹 (財)河川環境管理財団 大阪研究所 主任研究員

*** 大本 雄二 (株)ニュージェック 河川・海岸部

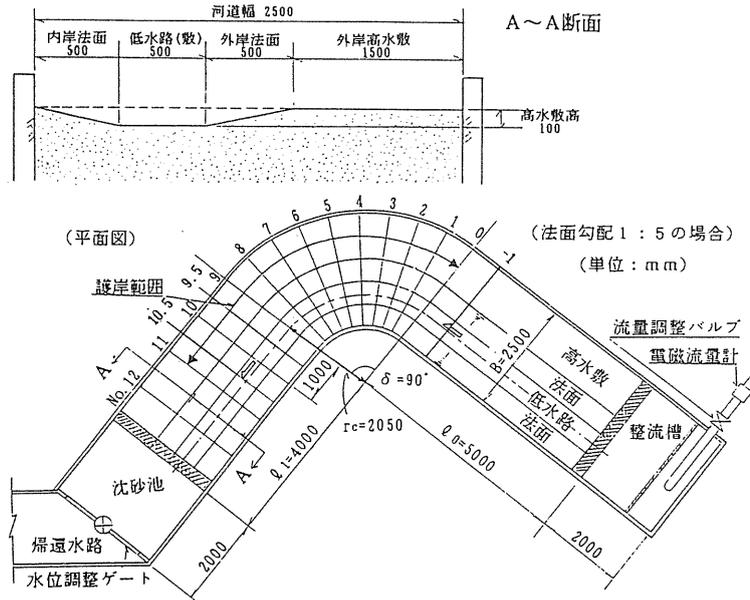


図2・1 模型装置及び測線No.

河道は、河床勾配1/500の複断面河道（ただし高水敷部は外岸側のみ再現）で、低水路法面勾配は1:2と1:5の2種類を対象とした。

河床材料は、平均粒径1.13mmの寒水石を用い、側岸部、高水敷部は侵食を受けないように大粒径（平均粒径5.34mm, 2.86mm）の砂礫で保護し、法尻と低水敷の境界には多孔性のアルミ板と金網を組み合わせた法止め工を、また法尻から低水敷部に根固め工（平均粒径9.75mm）を施した（図2・2、表2・2参照）。

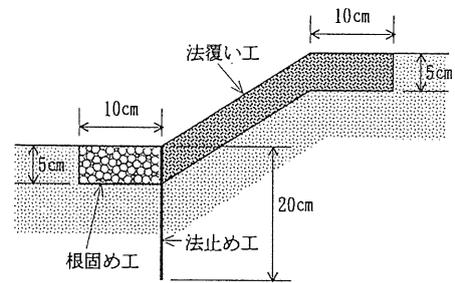


図2・2 法面部付近横断形状

表2・2 河床材料の特性

分類	①河床材料	①' 河床材料 小	②法覆い工		③根固め工	
			大	小	大	小
模型材料の種類	寒水石	寒水石	珪砂	珪砂	珪砂	珪砂
平均粒径(ほぼ一様砂) d	1.13mm	0.70mm	5.34mm	2.86mm	9.75mm	5.34mm
呼び径	-	-	5mm	3mm	10mm	5mm
ふるい目	-	-	4.75mm ~6mm	2.36mm ~3.47mm	9.5mm ~10mm	4.75mm ~6mm
模型縮尺1/50としたときの 実物平均粒径	約5.7cm	約3.5cm	約26.7cm	約14.3cm	約48.8cm	約26.7cm
無次元限界掃流力 τ_{*c} ($\tau = u_*c \cdot \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd}$) (移動限界摩擦速度 u_*c)	0.034 (2.49cm/s)	0.034 (1.96cm/s)	0.050 (6.57cm/s)	0.0498 (4.80cm/s)	0.050 (8.88cm/s)	0.050 (6.57cm/s)
斜面無次元限界掃流力 τ_{*sc}^{*1} 法面勾配1:5 $\theta_n = 11.3^\circ$ (斜面移動限界摩擦速度 u_*sc)	0.032 (2.42cm/s)	-	0.047 (6.38cm/s)	0.048 (4.73cm/s)	-	-
斜面無次元限界掃流力 τ_{*sc}^{*1} 法面勾配1:3 $\theta_n = 18.4^\circ$ (斜面移動限界摩擦速度 u_*sc)	0.028 (2.26cm/s)	-	0.042 (6.02cm/s)	0.042 (4.41cm/s)	-	-
斜面無次元限界掃流力 τ_{*sc}^{*1} 法面勾配1:2 $\theta_n = 26.6^\circ$ (斜面移動限界摩擦速度 u_*sc)	0.019 (1.86cm/s)	-	0.032 (5.10cm/s)	0.032 (3.86cm/s)	-	-

$$*1) \tau_{*sc} = \tau_{*c} \cos \theta_n \sqrt{1 - \left(\frac{\tan \theta_n}{\mu}\right)^2}$$

θ_n : 法面の傾斜角

μ : 砂粒子の静摩擦係数 ($\mu = \tan \phi$)

ϕ : 水中安息角¹⁾ ①33°、②大36°
小35°、③大39°
小36°

※比重はすべて2.65

実験は、上記のように整正した初期河床に対して、定常流を長時間通水し、低水路部の河床形状が概ね平衡状態に達した後、図2・1におけるNo.1からNo.12の各断面で横断方向に10cmピッチ（ただし法尻付近は5cmピッチ）、水深方向には河床から5mm、10mm、20mm、40mm、以下20mm毎に測定可能な高さまで、流向、流速を測定した（図2・3参照）。流向は流速計（ $\phi = 5\text{mm}$ のプロペラ式）の先端にくくりつけたタフトによって測り、流速はその流向での流速値を測定した。また各断面の河床高、水位を、連続式砂面計、サーボ式水位計により測定した。

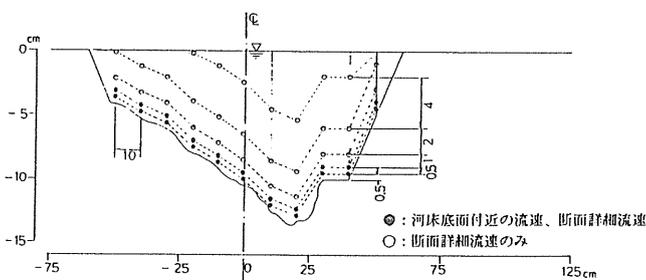


図2・3 流速測定位置

対象とした流量は、低水路満杯流量（表2・3参照）とその1.5倍の高水敷冠水流量である。

給砂は模型の上流部の河床高が上昇、低下しないように行った。

表2・3 低水路満杯流量

法面勾配 河床勾配	1 : 5	1 : 3	1 : 2
1/1000	35.5 ℓ/s	—	38.9 ℓ/s
1/ 500	38.2 ℓ/s	40.0 ℓ/s	40.4 ℓ/s
1/ 300	—	50.0 ℓ/s	51.0 ℓ/s
1/ 200	—	—	60.0 ℓ/s

なお流速測定終了後、根固め工を除去した後、再び平衡状態になるまで通水し、根固め工がない場合の洗掘深の計測も行った。

表2・4に実験ケースを掲げる。

表2・4 実験ケース一覧（1）

ケース名	河床勾配	法面勾配	流 量
5 2 L L -V	1/ 500	1 : 2	低水路満杯
5 2 L L F-V	''	''	高水敷冠水
5 5 L L -V	''	1 : 5	低水路満杯
5 5 L L F-V	''	''	高水敷冠水

2.2 河床形状

図2・4にはケース52LL-Vについて、根固め工がある場合と、除去した場合それぞれについて平衡となった河床の横断形状を示す。

根固め工の有無に拘らず、測線No.6を中心に内岸砂州が発達し、低水路外岸で洗掘が生じる。根固め工がある場合の最大洗掘の位置は、No.6～No.7にかけてのセンターラインよりの低水路外岸であるのに対し、根固め工がない場合は、最大洗掘深の発生する断面は根固め工がある場合と同様にNo.6～No.7であるが、その横断位置は法尻へと移動するとともに、その洗掘深は、根固め工がある場合よりかなり大きくなり、内岸の砂州もより発達したものとなる。

これらの結果は、根固め工の有無により、横断形状、特に洗掘深およびその横断位置が変化することを示している。すなわち、根固め工がある場合には根固め工部と境界を接する河床材料部が洗掘を受け、不安定となった根固め工が崩れ、その根固め工が洗掘を受けた河床材料部を保護し、比較的なだらかな横断形状になるとともに洗掘深も小さくなるものと考えられる。

図2・5(1), (2)に各断面の最大洗掘深の縦断分布を示すが、次のことがいえる。

- ①根固め工がある場合の洗掘深は、ない場合に比べてほぼ1/2程度に抑えられている。
- ②洗掘深に対する法面勾配の影響をみると、法面勾配が急（1:2）な場合より、緩い（1:5）の方が最大洗掘深は小さい。
- ③低水路満杯流量時の最大洗掘深に比し、流量を1.5倍にした高水敷冠水流量時のそれは若干大きくなるが、それほどの変化ではなく、法止め工の設計のための最大洗掘深の推定には、低水路満杯流量時の値を用いてもよいであろう。
- ④根固め工のない場合における低水路満杯流量時の最大洗掘深は、法面勾配1:2および1:5の場合、それぞれ平均水深のほぼ1.8倍および1.4倍であり、非常に長い法止め工が必要となり、通常行われているように、根固め工を設置することの重要性が理解される。

以上は限られた実験条件についての結果であるが、法止め工や根固め工の根入れ深さの一つの指標になると考えられる。

ケース52LL-V (1/500、1:2、法覆い工大、根固め工大、法止め工大、低水路満杯流量40.4ℓ/s)

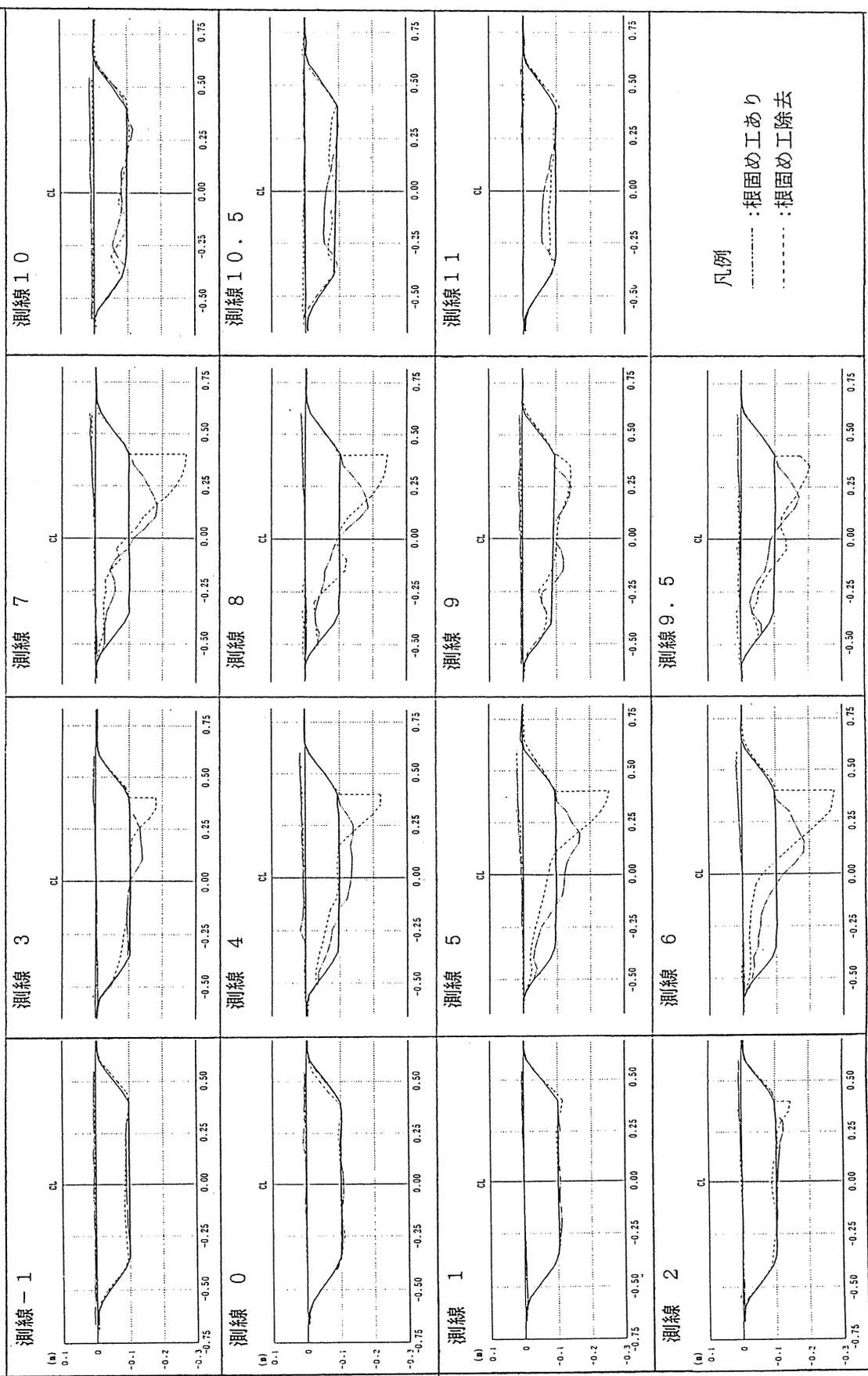


図2・4 河床横断形状 (ケース52LL-V)

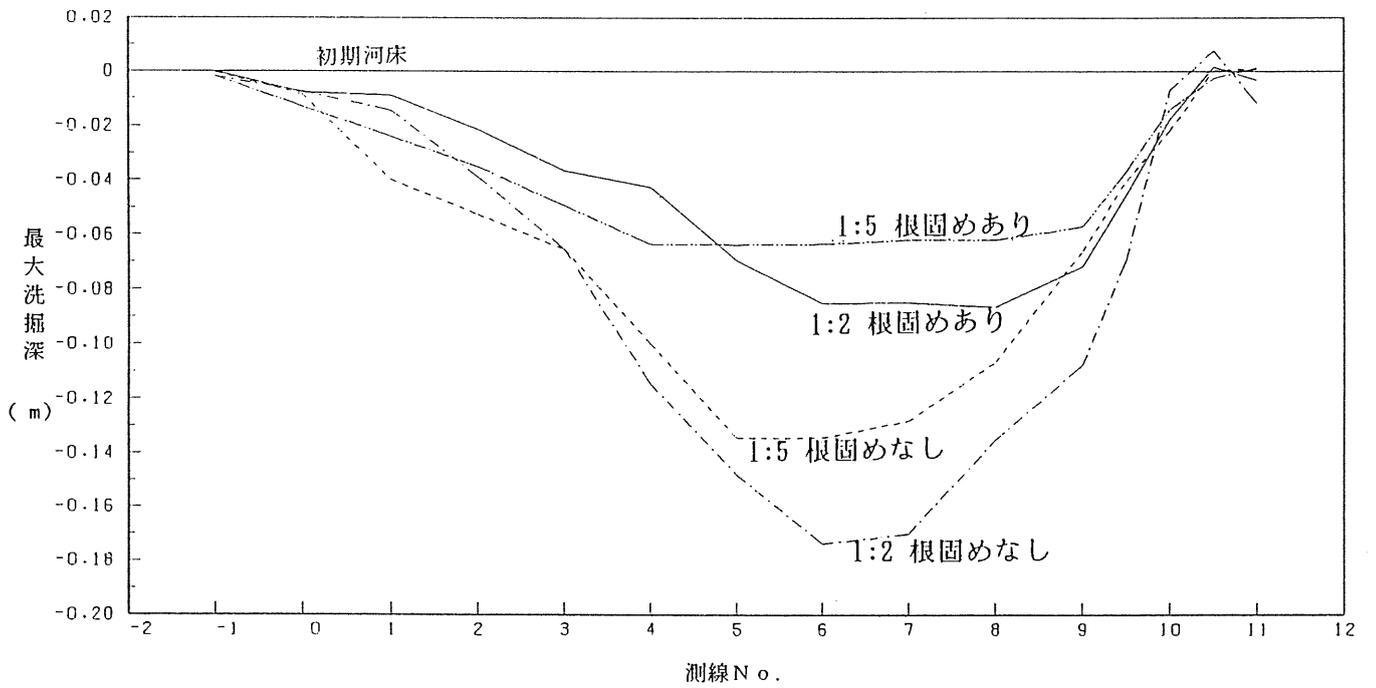


図 2・5 (1) 各断面の最大洗掘深の縦断分布 (低水路満杯流量時)

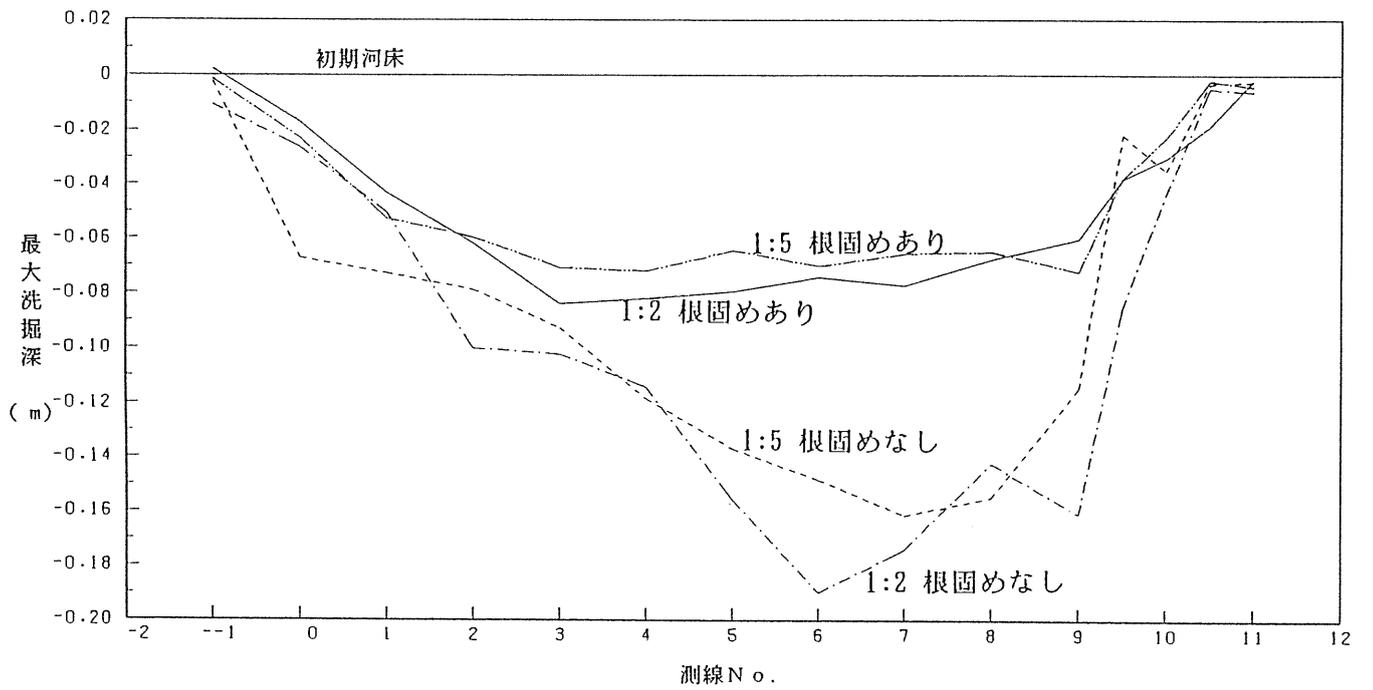


図 2・5 (2) 各断面の最大洗掘深の縦断分布 (高水敷冠水流量時)

2.3 横断水面形

図2・4に、水位の横断形状が河床横断形状とともに示されている。

弯曲部においては、弯曲による遠心力のため外岸の水位が高くなり、横断方向に水面勾配がつく。その値は、弯曲の入口のNo.0から弯曲角とともに大きくなり、No.6(弯曲角60°)の断面で最大となり、それより減少をはじめ、弯曲末端を過ぎたNo.10断面で消失している。

これらの現象は弯曲部流れの詳細な計算によって再現することは可能であるが、水面勾配と遠心力が釣り合うという簡単な仮定で計算した水面勾配が実測値とどの程度適合するかを検討した結果、実測値の最大となるNo.6断面付近では、実測値は計算値の2倍程度となり、2次流等の影響も考慮しなければ、実際の現象

を十分説明することができないことがわかった。

しかし、遠心力と水面勾配とが釣り合うという簡単な仮定に基づく横断方向の水面勾配の計算値が実測の最大水面勾配のほぼ1/2程度であることは、実際現象を推定する上で参考になるであろう。

2.4 流速分布

(1) 平面分布

図2・6は、水深方向に平均した流速の平面分布を示している。法面勾配、流量条件に拘らず、直線部の最大流速程度が弯曲終端から下流にかけての外岸法面部に発生しているのがわかる。また高水敷冠水流量時には、No.6～No.9にかけて外岸方向への流れが顕著になっていることがわかる。

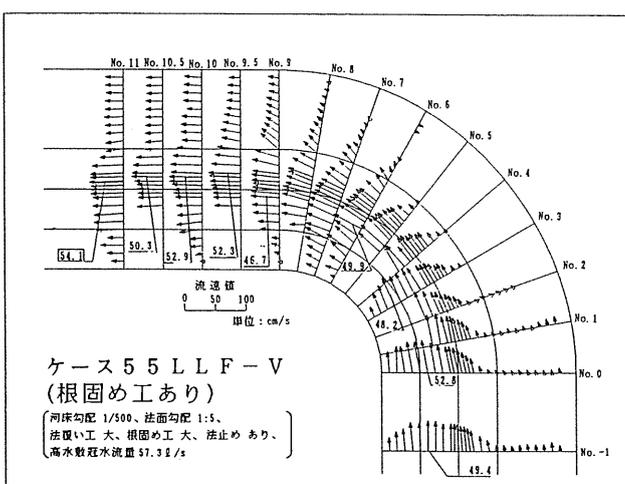
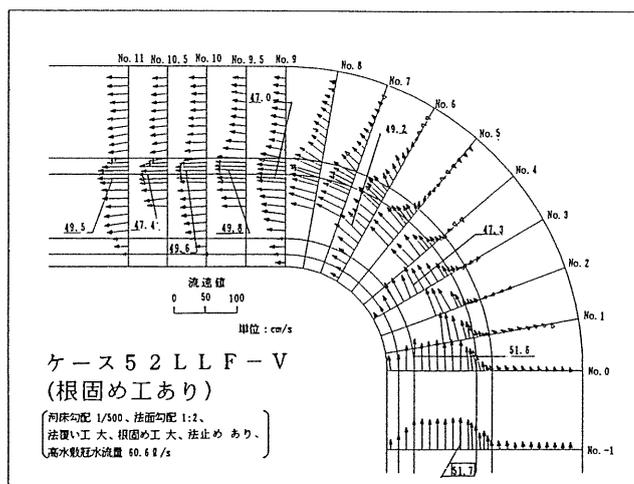
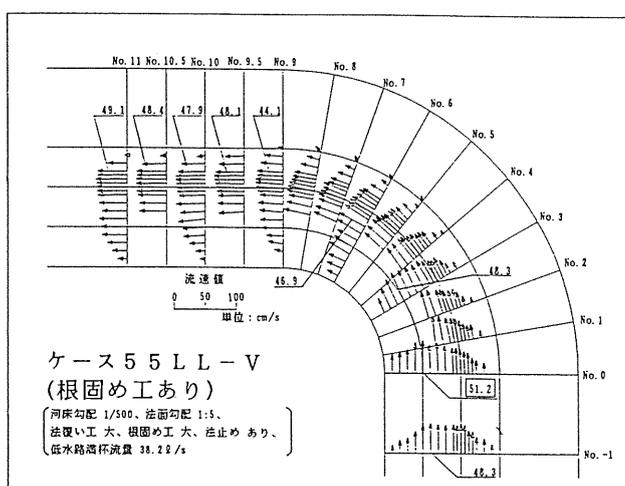
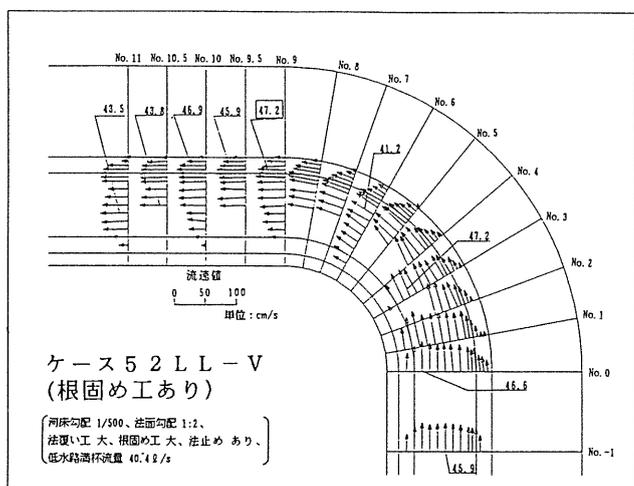


図2・6 水深方向に平均した流速分布

図2・7は、直線部の平均流速（No.-1の測定値）に対する、横断方向の各測点の水深方向に平均した流速の割合を平面分布として示したものである（流速は流向を無視して絶対値を用いている）。

低水路満杯流量時には法面勾配に拘らず直線部の断面平均流速の1～2割増し程度の流速が、高水敷冠水流量時には2～3割増し程度の流速が、No.10付近の外岸法面部で発生している（両流量条件で、断面平均流速はほぼ同じ）。これは内岸砂州の発達により流れが外岸に集中した結果であり、直線部に比べて、弯曲の影響により外岸部では大きな外力が作用しているといえる。またその外力の程度は、掃流力に換算すると、直線部の断面平均掃流力に比べて、低水路満杯流量時

で2～4割増し、高水敷冠水流量時で4～7割増しと見積られる。また内岸部においては弯曲入り口付近で従来から認められているように、断面平均流速の2～3割増し程度の流速が発生していることも注目する必要がある。

(2)断面分布

図2・8は、流速の絶対値を用いて各断面毎に等流速線を描いたものである。法面勾配に拘らず、弯曲に至る前に河道中心にあった最大流速域が、弯曲を出たNo.10では外岸側に移動しており、弯曲の影響により流れが外岸に集中していることを示すとともに、弯曲外岸部で発生する最大流速は直線部で発する最大流速にほぼ等しいものであることがわかる。

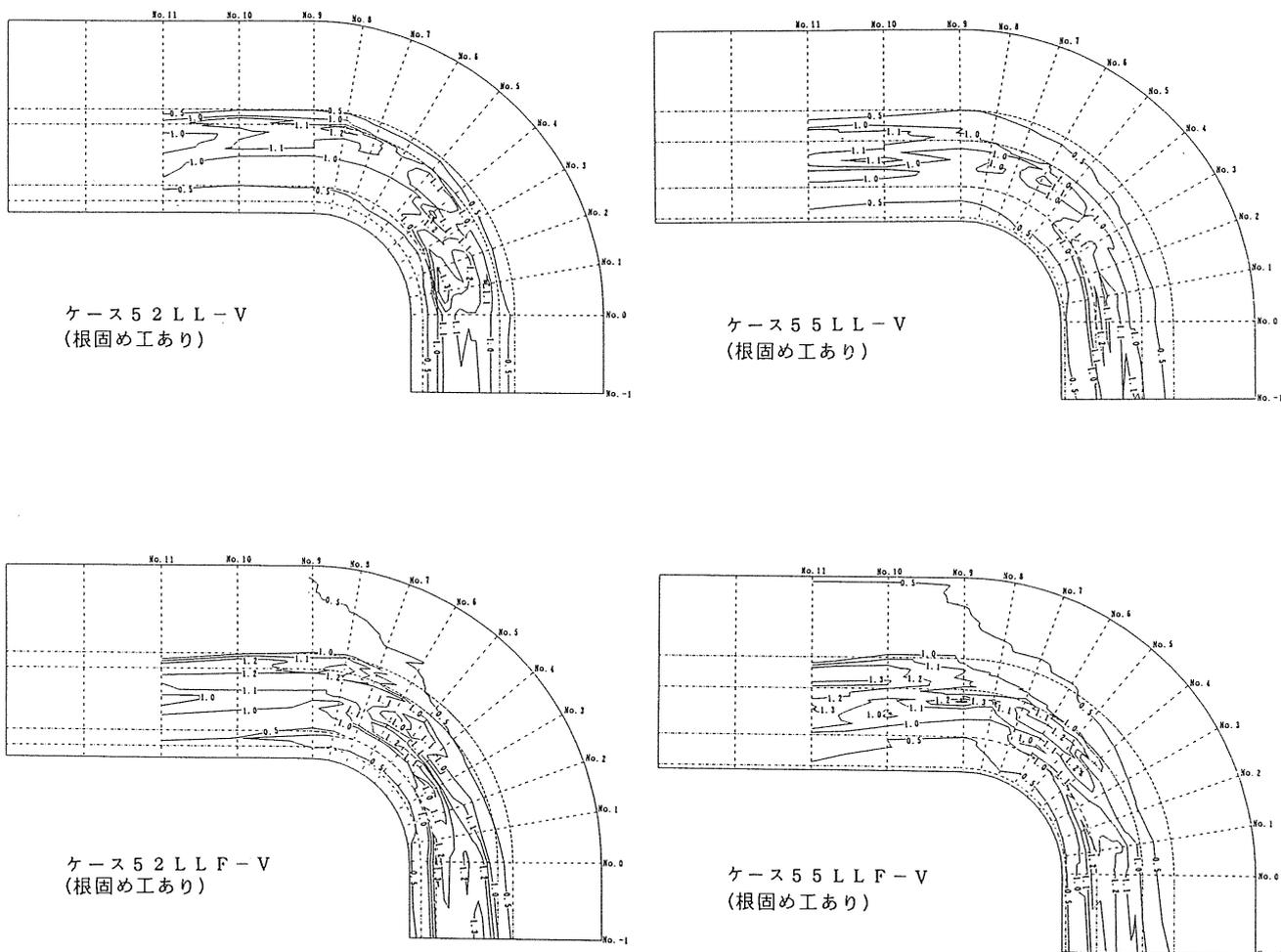


図2・7 (各測点の水深方向に平均した流速/直線部の平均流速 (No.-1の測定値)) の分布

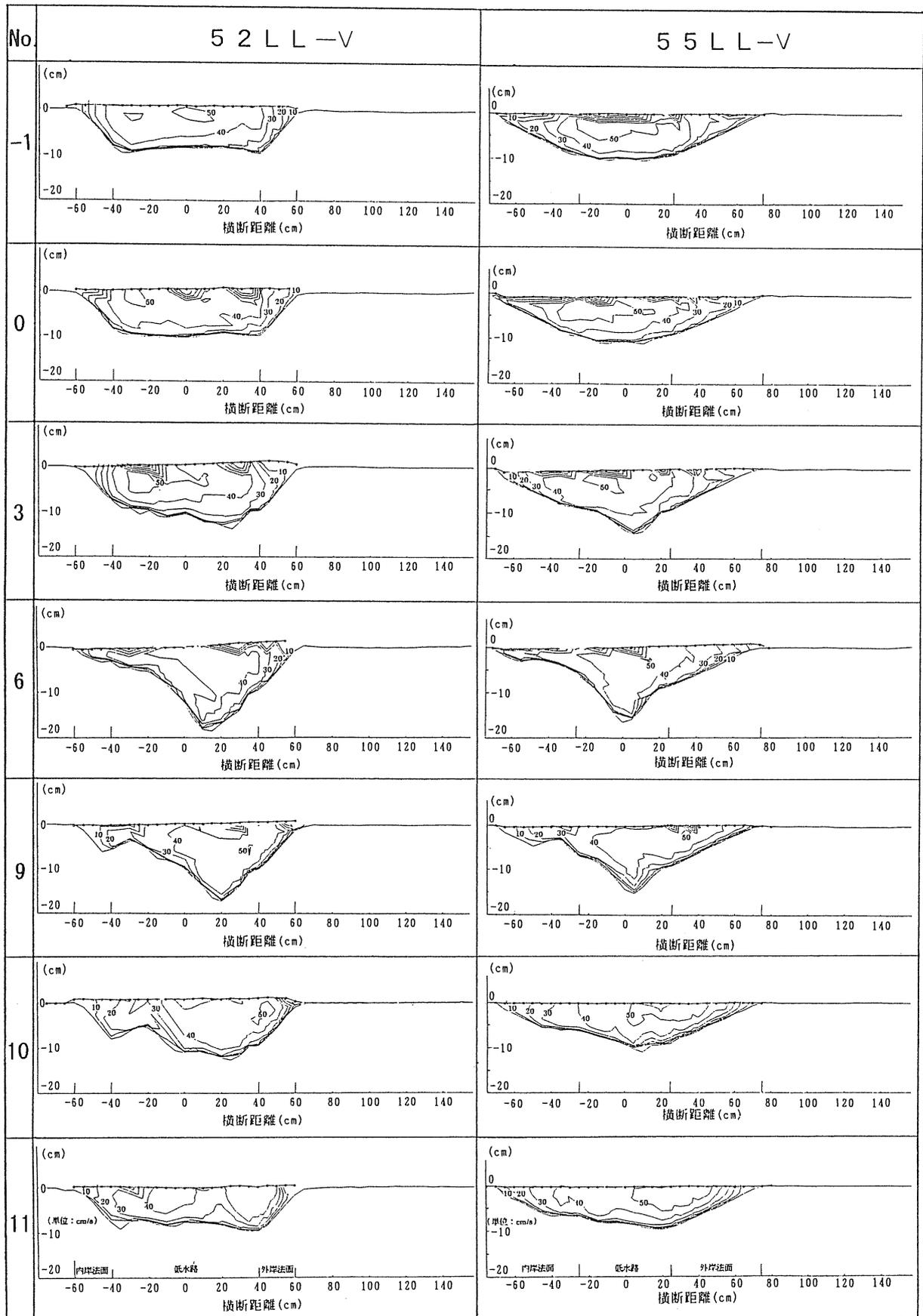


图 2 · 8 断面流速分布

(3)河床付近の流速

図2・9(1), (2)は、河床から5mmの測点で得られた流速をベクトルとして表現したものである。このうち低水路満杯流量時のものである図2・9(1)では、内岸砂州が発達し、外岸での洗掘が大きくなるNo.6断面で流向が内岸を向く傾向を示しており、2次流が発生している断面であることを窺わせる。また高水敷冠水流量時のケース52LLF-Vでは、弯曲部で2次流が発生していること、No.6～No.8において外岸向きの流れが発生していることがわかる。

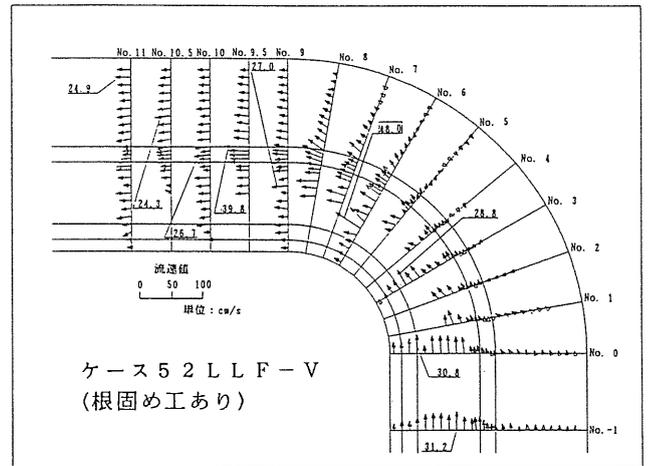


図2・9(2) 河床から5mmの流速ベクトル図
(高水敷冠水流量時)

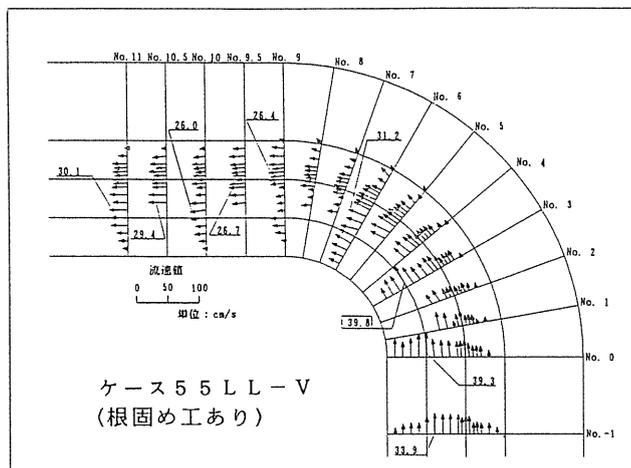
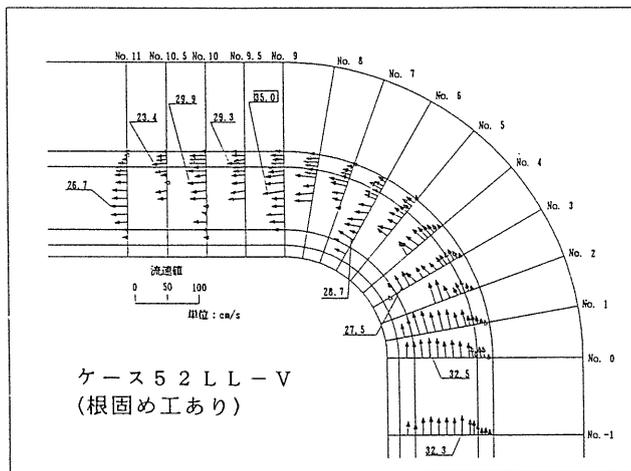


図2・9(1) 河床から5mmの流速ベクトル図
(低水路満杯流量時)

3. 空石積み護岸の水理特性

3.1 実験の概要

河床勾配、法面勾配、空石積みを想定した法覆い工の粒径等をパラメータに、定常流を長時間通水し空石積み護岸の侵食状況を把握する実験を行った。使用した模型は、図2・1と同じである。

再現範囲の低水路、法面および外岸の高水敷はすべて移動床で設定した。低水路の河床材料として平均粒径1.13mmの寒水石を敷設し、実物で玉石に相当する法覆い工、ならびに大きな自然石に相当する根固め工は、それぞれ大小2種類の珪砂で表現した(表2・2参照)。

河床勾配は、低水路満杯流量で河床が活発に移動する勾配として1/500、低水路満杯流量で河床が移動限界付近となる1/1000を中心に、外力がより大きくなる勾配として1/300、1/200を追加的に設定した。

法面勾配は1:5、1:3と1:2の3種類を考え、法面の状態としては①法覆い工なし、根固め工なし、②法覆い工あり、根固め工なし、③法覆い工あり、根固め工あり、の3つの状態を考えた。なお法面勾配を変える際には、低水路の中心線を固定して流積が一定となるようにした(図3・1参照)。

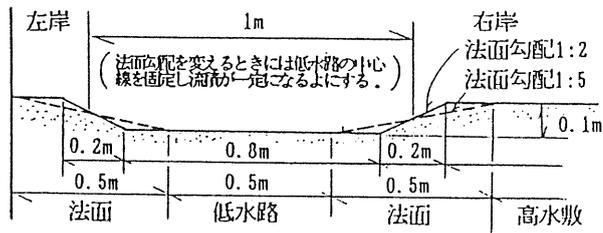


図3・1 横断形状および法面の状態

実験は整正した初期河床に対して、低水路満杯流量、または低水路満杯流量の1.5倍の高水敷冠水流量を3時間（ないしはそれ以上）通水することを基本とした。なお実験中、上流端では河床高が変化しないように給砂を行っている。また低水路満杯流量は予備実験により求めた（表2・3参照）。

通水期間中、側岸侵食の状況を観察するとともに、適宜、水位、河床高ならびに流速の各水理量を測定している。

表3・1に実験ケースを示す。表中、-Rのケースは、より河床の移動が活発となるように河床材料の粒径を小さくしたケース（平均粒径0.70mm）である。

3.2 側岸侵食の概況²⁾

側岸の侵食状況等について、その様子を概述する。

なお、図3・2には、河床横断形状の一例として、ケース52SN, 52SS, 55SNの測定結果を示す。

(1)低水路満杯流量時

①護岸工を施さなかった場合、河床勾配、法面勾配に拘らず側岸が侵食された。また、最も側岸侵食を受けるのは弯曲部より下流（測線No.10付近）であった。この際、局所的な深掘れはなく、比較的滑らかな横断形状になるのが特徴である（ケース12NN, 15NN, 52NN, 55NN）。

②護岸工を施したケースは、法面勾配や法覆い工の粒径、根固め工の有無によりその効果に差異が現れ

た。

- 法覆い工大敷設時には、法面勾配、根固め工の有無に拘らず法面は安定していた（ケース52LL, 52LN, 55LL）。
- 法覆い工小敷設時（根固め工なし）には、緩勾配である法面勾配1:5のほうが法面勾配1:2より護岸効果が高かった（ケース52SN, 55SN）。
- しかし法面勾配1:2でも、根固め工を敷設することにより側岸侵食を抑制することができた（ケース52SN, 52SS）。
- 根固め工を敷設した場合でも、河床勾配が大きくなると側岸は侵食を受ける（ケース32SS, 22SS）。

③河床材料粒径を小さくした場合、同条件の河床材料が大きい場合に比して、横断形状は若干異なるものの側岸の侵食状況は大差ない（ケース52LN-R, 33LN-R）。

④法覆い工を敷設したにもかかわらず側岸侵食が進行するケースは、まず法尻付近が崩れ、その近傍の、不安定となった側岸の法覆い工が崩れることにより側岸侵食へと発達する場合と、流れの直接的な掃流力によって侵食を受ける場合の2種類がある。また、側岸が安定しているケースでは、弯曲角60°付近の法尻部で深掘れが生じる。

⑤これらの土砂挙動は、内岸砂州の影響が見受けられる。すなわち内岸砂州の形成が流れを流路中央から外岸に集中させることとなり、側岸侵食や法尻部の深掘れを助長する結果となっている。

⑥これらの結果は、以下のようにまとめられる。

- ある粒径以上の法覆い工（今回の実験では法覆い工大）を敷設した場合には、根固めの有無によらず法面は安定している。
- 法覆い工が移動限界付近の粒径（今回の実験では法覆い工小）でも、根固め工を施すことにより法面の崩れを抑止することができ護岸効果が高まる。
- 法覆い工が移動限界付近の粒径なら、法面を緩勾配にするほうが護岸効果が高い。

(2)高水敷冠水流量時

同条件の低水路満杯流量時に比べて、法尻付近の侵食がみられる点が異なり、高水敷においては弯曲部から下流にかけて侵食がみられる。

表3・1 実験ケース一覧(2)

ケース名	河床勾配	法面勾配	流 量	法覆い工	根固め工
1 2 N N	1/1000	1 : 2	低水路満杯	-	-
1 5 N N	"	1 : 5	低水路満杯	-	-
5 2 N N	1/ 500	1 : 2	低水路満杯	-	-
5 2 L L	"	"	"	大	大
5 2 L N	"	"	"	大	-
5 2 S S	"	"	"	小	小
5 2 S N	"	"	"	小	-
5 2 S S F	"	"	高水数冠水	小	小
5 5 N N	"	1 : 5	低水路満杯	-	-
5 5 L L	"	"	"	大	大
5 5 S N	"	"	"	小	-
5 3 S N	1/ 500	1 : 3	低水路満杯	小	-
3 3 L N	1/ 300	"	"	大	-
3 2 S S	1/ 300	1 : 2	低水路満杯	小	小
2 2 S S	1/ 200	"	"	小	小
5 2 L N - R	1/ 500	1 : 2	低水路満杯	大	-
3 3 L N - R	1/ 300	1 : 3	"	大	-

* ... 予備実験のみ (水理量は未計測)

各実験ケース名の意味は以下のようである。

ケース I II III IV V - VI

- I ... 河床勾配 $\left\{ \begin{array}{l} 1 \cdots 1/1000 \\ 5 \cdots 1/ 500 \\ 3 \cdots 1/ 300 \\ 2 \cdots 1/ 200 \end{array} \right.$
- II ... 法面勾配 $\left\{ \begin{array}{l} 2 \cdots 1:2 (2割) \\ 3 \cdots 1:3 (3割) \\ 5 \cdots 1:5 (5割) \end{array} \right.$
- III ... 法覆い工の有無
または粒径 $\left\{ \begin{array}{l} N \cdots 敷設せず \\ S \cdots 法覆い工小 (d = 2.86mm) 敷設 \\ L \cdots \quad \quad \quad 大 (d = 5.34mm) 敷設 \end{array} \right.$
- IV ... 根固め工の有無
または粒径 $\left\{ \begin{array}{l} N \cdots 敷設せず \\ S \cdots 根固め工小 (d = 5.34mm) 敷設 \\ L \cdots \quad \quad \quad 大 (d = 9.75mm) 敷設 \end{array} \right.$
- V ... 流量条件 $\left\{ \begin{array}{l} 無記入 \cdots 低水路満杯流量 \\ F \cdots 高水数冠水流量 \end{array} \right.$
- VI ... その他 R ... 河床材料粒径小

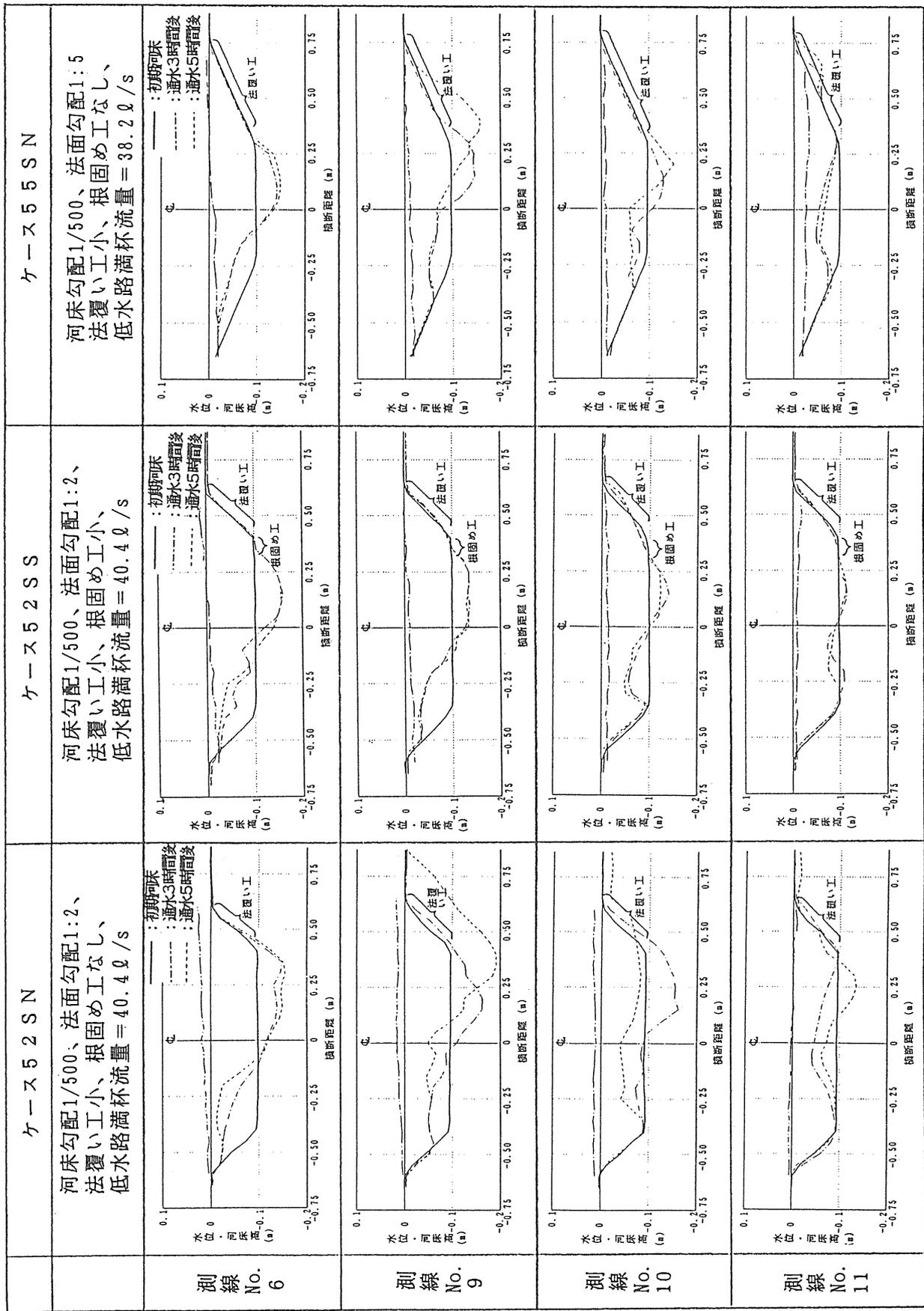


図3・2 河床横断形状

3.3 側岸侵食状況の評価

3.2で示した側岸侵食の状況を整理することを試みた。最も側岸侵食の大きい測線No.9～No.11付近の側岸の3時間通水後における状況に対して、以下のような評価方法で側岸侵食状況を区分した。(図3・3参照)

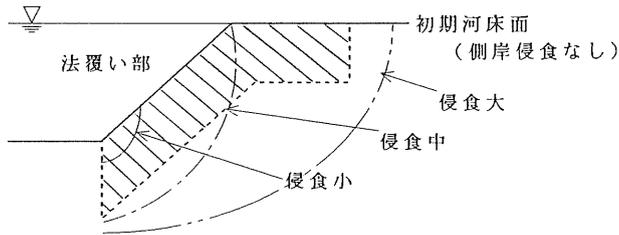


図3・3 側岸侵食状況評価の模式図

A…側岸侵食なし

側岸部の砂礫がほとんど移動しないケース。

B…側岸侵食小

法尻付近の法覆い工が崩れるが河床材料部にまで侵食が及ばないケース。

C…側岸侵食中

法尻付近の法覆い工が崩れ、河床材料部にまで侵食が及ぶケース。

D…側岸侵食大

側岸侵食が法肩にまで及ぶケース。

I…側岸侵食あり、高水敷侵食あり

高水敷冠水流量の場合に、側岸、高水敷とも侵食を受けるケース。

これらの評価を各ケースにあてはめ一覧にしたものを表3・2に示す。

表3・2 側岸侵食状況の評価

実験ケース	河床勾配	法面勾配	流量	法覆い工	根固め工	側岸侵食状況の区分
1 2 N N	1/1000	1 : 2	低水路満杯	-	-	D
1 5 N N	"	1 : 5	"	-	-	D
5 2 N N	1/ 500	1 : 2	"	-	-	D
5 2 L L	"	"	"	大	大	A
5 2 L N	"	"	"	大	-	A
5 2 S S	"	"	"	小	小	B
5 2 S N	"	"	"	小	-	C
5 2 S S F	"	"	高水敷冠水	小	小	I
5 5 N N	"	1 : 5	低水路満杯	-	-	D
5 5 L L	"	"	"	大	大	A
5 5 S N	"	"	"	小	-	B
5 3 S N	1/ 500	1 : 3	低水路満杯	小	-	C
3 3 L N	1/ 300	"	"	大	-	B
3 2 S S	1/ 300	1 : 2	低水路満杯	小	小	D
2 2 S S	1/ 200	"	"	小	小	D
5 2 L N - R	1/ 500	1 : 2	低水路満杯	大	-	A
3 3 L N - R	1/ 300	1 : 3	"	大	-	B

3.4 法覆い工設計指針^{2), 3)}

低水路満杯流量のケースについて、側岸侵食の状況を水理量によって整理し、法覆い工設計指針の基礎資料としてまとめることを考える。

側岸侵食の状況を、前述のA（侵食が全く生じないもの）、B（法尻付近の法覆い工が崩れるが側岸侵食は生じないもの）、およびC、D（側岸侵食が生じるもの）に区分し、それぞれ○、○および●で表示し、○と○を安全、●を危険として、図3・4(1)、(2)の形に整理した。

整理に用いた諸量は以下のように定義している。

- u_{sco} … 直線部斜面のLane⁴⁾の式による移動限界摩擦速度
- u_{s0} … 直線部の断面平均摩擦速度
- u_{smax} … No.10断面の水深方向に平均した流速の側岸部の最大値

図中の一点鎖線は、直線河道側岸部にはおおよそ断面平均掃流力の1/2程度の掃流力が作用すると考えた場合の、直線河道側岸部の平均摩擦速度を u_{s0} として、 $u_{s0}^2 = 0.5u_{*0}^2$ としたときのもの⁵⁾であり、直線河道においてはこれより上が安全域である。しかし弯曲部においては、一点鎖線よりも上にあるケースで●の評価

となっているものがある。これは弯曲の存在により、流れの集中や2次流の影響で弯曲及びその下流側岸部の u_{s0} が直線部の u_{s0} より大きくなり、側岸侵食限界線が上に移動することを示している。

その程度は根固め工がない場合で、○が $u_{sco}/u_{*0} = 1.2$ 程度以上、⊗は1.1~1.2、●は1.1以下となっているため直線部の断面平均よりやや大きな外力が弯曲外岸部に作用しているものと考えられる。これは前述の側岸を固定した流速測定実験において、弯曲外岸部で発生している流速が直線部の断面平均流速の1~2割増しのものとなっていたこととおおよそ符合する。

また、図3・4(2)では、⊗●の境界が $u_{sco}/u_{*0} = 0.8$ 程度に現れる。これは、根固め工を施すことにより、法尻付近の河床が保護され、法尻から進行する側岸侵食が抑制されているためである。これは空石積み護岸において法尻の保護も重要であることを示している。

これらの結果は、河道条件、水理条件が変化すれば、異なる結果を与えるであろうが、90°弯曲という比較的厳しい条件でのものであり、他の条件でも90°弯曲の結果を用いて議論しておけばおおよそ安全側の結論が得られるものと考えられ、図3・4は、空石積みの護岸の有する防災機能上の安全性を評価するための一つの指標になるといえる。

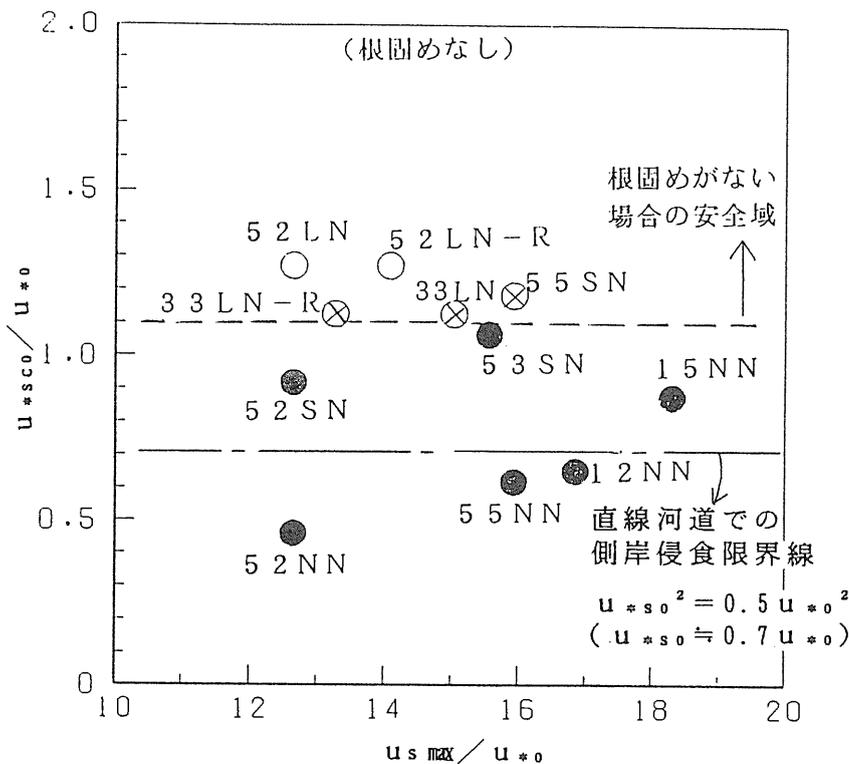


図3・4(1) $u_{sco}/u_{*0} \sim u_{smax}/u_{*0} \sim$ 側岸侵食の関係 (1)

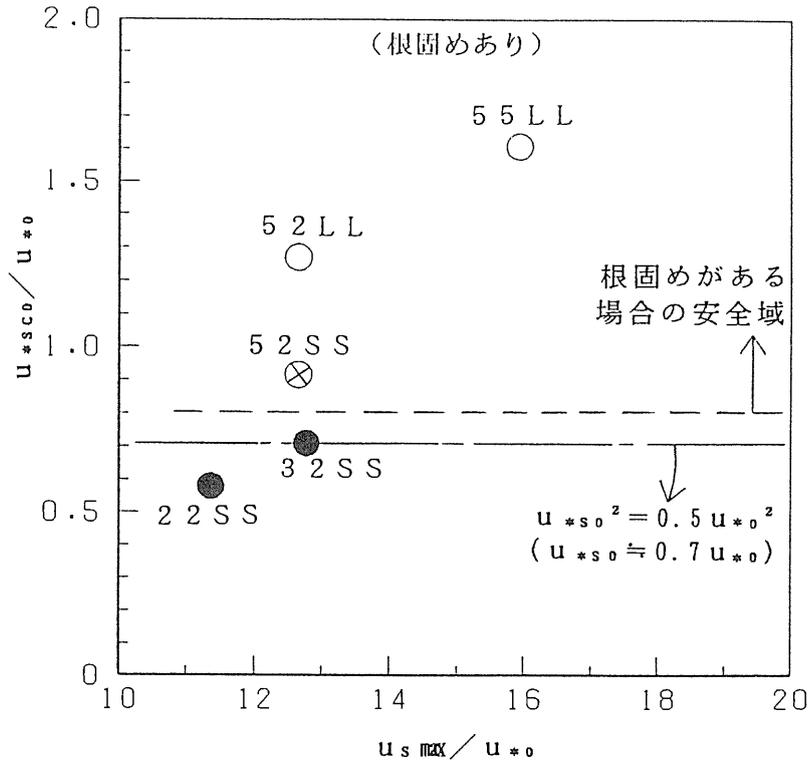
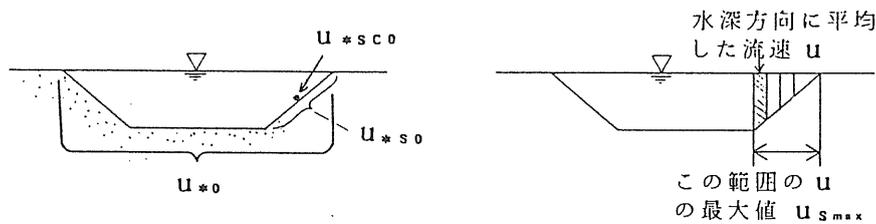


図3・4 (2) $u_{*sco}/u_{*0} \sim u_{s \max}/u_{*0} \sim$ 側岸侵食の関係 (2)



4. テンダーバッグの適用性に関する検討

4.1 実験の概要

多自然型護岸材料として期待されるテンダーバッグ⁶⁾を、どのような状態で設置する(端をどのような角度で埋め込む)のが効果的かを確認する基礎的な実験と、テンダーバッグを弯曲河道に設置した場合の護岸効果を確認する実験を行った。

①敷設角度に関する基礎実験

実験には、長さ5m、幅30cm、勾配1/90の矩形水路を用いた。テンダーバッグは縮尺1/12.5(幅4cm×長さ5.6cm×厚さ1cm)で再現し、袋体は綿布、中身は石炭粉と寒水石の混合物で、比重1.58に調整し、流下方向に8個、横断方向に5個の計40個を連結した。

これを図4・1に示すような状態に設置し、徐々に流量を増加させ、テンダーバッグが移動する限界

の流量を見出した。設定した敷設角度は、10°、20°、30°の3種である。

②護岸効果を確認する実験

図2・1の90°の弯曲模型にテンダーバッグを設置し、護岸効果を確認した。設定した河道条件は、河床勾配1/300、法面勾配1:3で空石積みの実験におけるケース33LN通水後の河床を用いた。テンダーバッグは比重1.77で、面的に連結した状態を再現し、流下方向1m×横断方向0.7m(実物で流下方向50m×横断方向35m)の大きさとした。

設置状態は、図4・2に示すように空石積みの実験で側岸侵食の激しかったNo.10を空石積みに代えてテンダーバッグで保護するようにし、テンダーバッグの端は固定しない場合と、上流端、高水敷の2方を30°の角度で埋め込んだ状態を試した。

前者では流量30 l/sを徐々に増加し100 l/sまで、後者では高水敷冠水流量となる100 l/sを2時間通水してその様子の観察を行った。

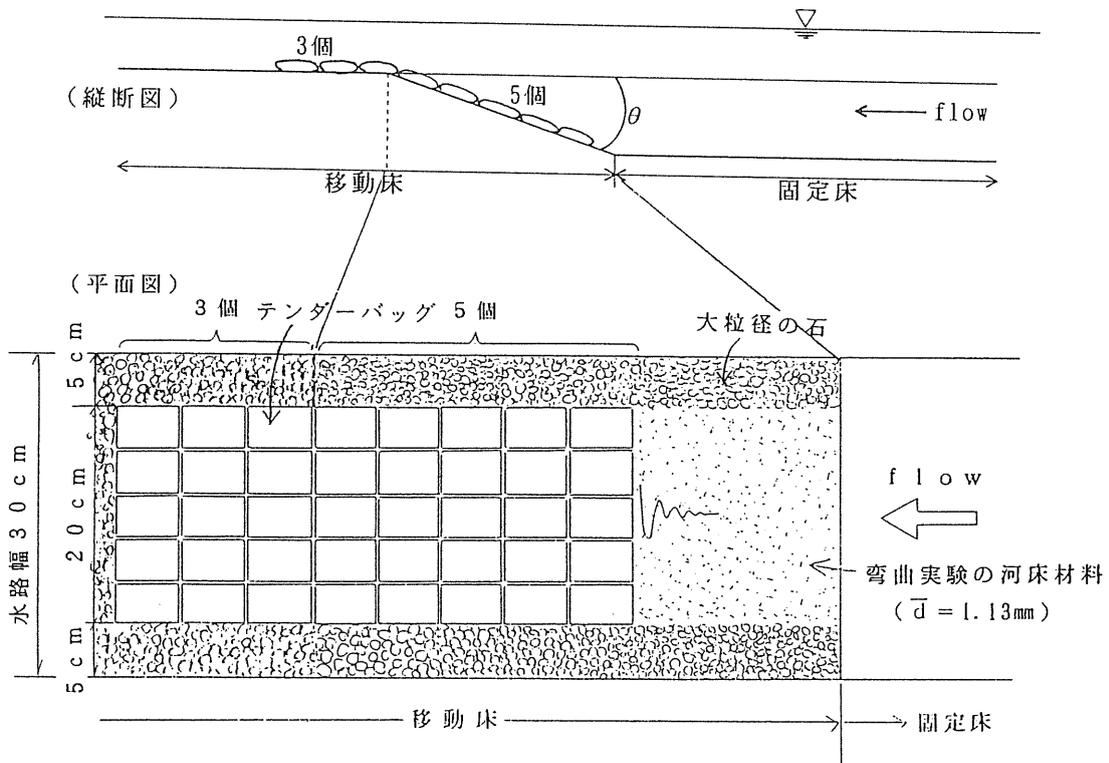


図4・1 テンダーバッグの敷設方法

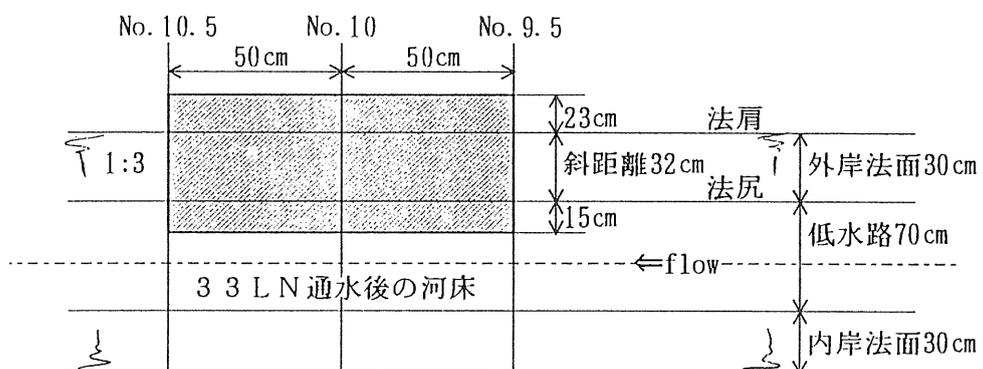


図4・2 テンダーバッグの敷設状況

4.2 移動限界時の水理量と移動の状況

10° , 20° , 30° の敷設角度に対して、移動限界の条件と移動状況を実験的に調べた。図4・3はそれぞれの敷設角度についての移動限界時でのテnderバッグ上流端における断面平均流速である。

移動限界流速は、角度30° の時に若干大きいですが、この実験ではほぼ40cm/sであり、この値はテnderバッグ上流端の河床砂の移動限界にほぼ対応している。

すなわち、テnderバッグ上流端の河床砂が移動して洗掘が生じるとテnderバッグとの間に隙間が生じ、

テnderバッグは不安定となり、やがて移動する。移動の状況は、敷設角度によって異なり、10° では上向きに丸まって、20° , 30° では全体がずれるように移動した。

以上の結果、テnderバッグ周辺を移動しないようにしておけば、テnderバッグは十分な機能を発揮する。ちなみに、本実験でのテnderバッグ水平部における断面平均流速は模型値で90cm/s近く、実物に換算すると3 m/sを越えるものであったが、テnderバッグには何の異常も認められなかった。

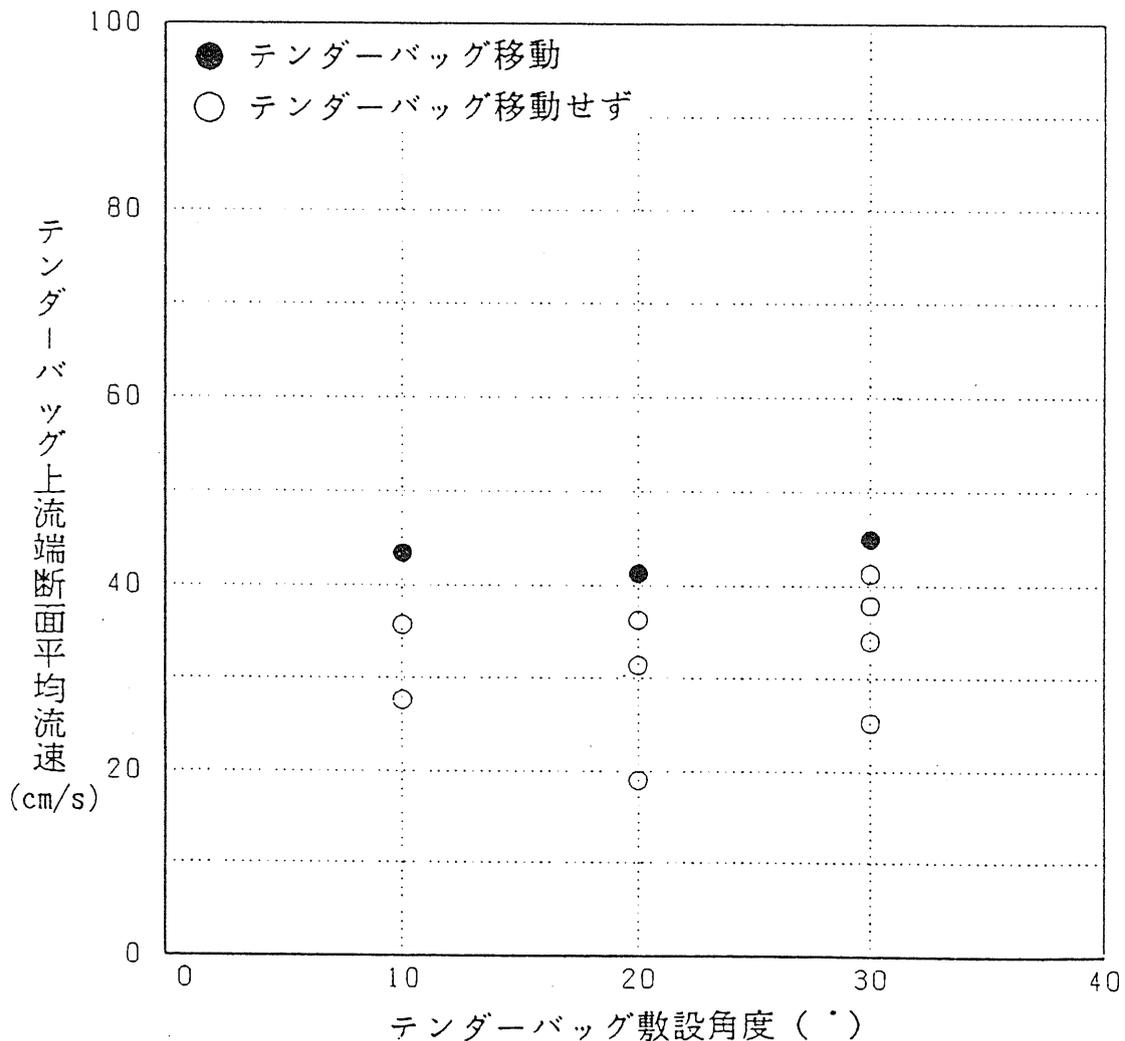


図4・3 テnderバッグの移動限界と断面平均流速の関係

4.3 テンダーバッグの護岸効果

(1) テンダーバッグ端を固定しない場合の状況

流量を30 l/sから増加させたが、低水路満杯流量(50 l/s; 断面平均流速50cm/s(実物で約35m/s))までは動かない。高水敷冠水流量となる70 l/s程度で高水敷部が侵食され、その部分のテンダーバッグがやや不安定になるが、めくれるまでには至らない。

更に100 l/sまで流量を上げて、テンダーバッグが波立つような状態となったが、移動することにはなかった。ただし予備通水時には、低水路満杯流量までに移動するようなこともあり、端を固定しない場合、不安定であるといえる。

(2) テンダーバッグ端を固定した場合の状況

上流端、高水敷端の2方を30°の角度で埋め込んで固定し、100 l/sを2時間通水した。この場合、通水2時間後でも移動することなく安定しており、側岸の砂礫の移動が抑制され、護岸効果が認められた。

実験では、ある程度内岸砂州が発達して外岸に流れが集中する状態に対してテンダーバッグを敷設して実験を開始しており、その状態から2時間通水しても移動しなかったということは、端を固定した場合、かなり安定性の高いものであるといえる(写真4・1参照)。

以上より、テンダーバッグ端をある程度の深さまで埋め込んで適切に処理しておけば、かなりの護岸効果が期待できる。



写真4・1 テンダーバッグの護岸効果確認実験
(流量100 l/s, 通水2時間後)

5. 結論および今後の課題

5.1 結論

(1) 90°単弯曲の複断面河道の平衡河床形状およびそれに対する流速分布特性が明らかにされた。

その主なものを示すと、次のようである。

①弯曲部に発生する2次流のため、内岸に砂州が、外岸に深掘れが生じるが、洗掘れが最も大きくなるのは弯曲角60°付近であり、これは2次流の大きさがこの付近で最大になっていることに対応している。

②高流速部は弯曲部入口付近の内岸および弯曲部末端付近の外岸に生ずる。これは流れが弯曲のため流下につれ外岸に集中することによる。最大流速の大きさは、前者においては直線部の断面平均流速の2～3割増、後者においては1～2割増し程度である。

③根固め工がない場合とある場合のそれぞれについて、法面勾配が急(1:2)と緩(1:5)の場合の外岸沿いに生じる深掘れの特性が調べられ、根固め工の洗掘抑止効果や法面勾配が緩い方が深掘れが小さくなるなどが明らかにされた。すなわち、根固め工がない場合の最大洗掘深は法面勾配が1:2の場合には平均水深の1.8倍、1:5の場合には1.4倍程度であり、法止め工の根入れ深さはかなり深いものしなければならない。根固め工を設置した場合には深掘れを1/2程度に抑えることができ、根固め工を設置する重要性が理解される。

(2) 空石積み護岸の水利特性

①護岸工を施した場合には、法面勾配や法覆い工の粒径、根固め工の有無により護岸効果に差異が生じる。

- ある粒径以上の法覆い工を敷設した場合、法面勾配、根固め工の有無によらず法面は安定する。
- 法覆い工が移動限界付近の粒径でも、根固め工を施すことにより法面の崩れを抑止することが可能となり、護岸効果が高まる。

- ・法覆い工が移動限界付近の粒径なら法面を緩勾配にするほうが護岸効果が高い。
- ・ただし側岸が移動しないケースでは、法尻（根固め工がある場合には根固め工と河床の境界部分）において深掘れが生じる。

(3)空石積み護岸の法覆い工粒径選定指針

法覆い工の粒径を選定する指針を定めるための参考となる資料が得られた。すなわち、法覆い工の粒径に対する直線部斜面上の移動限界の摩擦速度を u_{sc0} 、直線部の断面平均の摩擦速度を u_0 とすると、根固め工がない場合、

$$u_{sc0}/u_0 > 1.1 \text{ で十分な護岸機能が得られ、}$$

$$u_{sc0}/u_0 > 1.2 \text{ で法覆い工はほとんど変化せず安全である。}$$

これは弯曲外岸部で発生する流速が、直線部の断面平均流速の1～2割増しのものとなっていることとおおよそ符合している。根固め工を施すことにより護岸の安全性はさらに高まる。

以上の結果は、90°弯曲という比較的厳しい条件でのものであり、一般的には比較的安全側の結論と思われるが、さらに弯曲角や、曲率半径、河道形状等をパラメータにして検討を行い、汎用性のあるものにしていく必要がある。

(4)テングーバッグの適用性

テングーバッグはどのような流速の所まで適用できるかの基礎的な実験を行った結果、テングーバッグの上流端付近の河床部が移動して洗掘が生じるような状態になると、テングーバッグは不安定となり容易に移動することがわかった。しかし、テングーバッグの上流端をある程度の深さまで埋め込んでおけば、かなりの高流速にも耐え、護岸機能を発揮する。

テングーバッグを複断面弯曲河道の低水路水衝部に設置して、その安定性を検討した。この場合、上流端および高水敷端の2方を30°の角度で埋め込んで固定した。低水路満杯流量(断面平均流速が実物で3.5m/s)、さらに流量を2倍の高水敷冠水流量に対してもテングーバッグは安定しており、護岸機能を発揮した。

すなわち、テングーバッグは端を固定した場合、かなり安定性の高いものであるといえる。

5.2 今後の課題

(1)高水敷冠水流量時の検討

今までの検討は、低水路満杯流量が中心で、高水敷が冠水した場合の状況に対する知見はあまり得られていない。

実際の護岸工の設計に際しては、法肩、高水敷の保護も重要な問題となる。そこで、代表的なケースで高水敷冠水流量による実験を行うことが考えられる。

(2)法覆い工厚さと吸い出し防止材の検討

実験の法覆い工厚さは、実物に換算すると2.5mになり、やや現実的でない感があり、実際の設計に際しては必要かつ十分な厚さを知りたいところである。そこで吸い出し防止材の検討も兼ねて法覆い工厚さを変化させた検討を行うことが考えられる。

(3)護岸範囲の検討

(2)とともに、実際の設計でどの範囲を保護するかは大きな問題である。実験では局所的に法覆い工が崩れた場合、流れがそこに集中して、その部分から大きく崩壊するような現象もみられ、法覆い範囲を小さくしすぎると河岸との不連続部に流れが集中して、実験のような状況に陥る可能性がある。

そこで、護岸範囲を変化させた検討を行っていく必要があろう。

(4)成果の汎用化

別途構築している数値シミュレーションを用いて、空石積み護岸の適用性に関する成果の汎用化を図る。特に計算では、実験で扱うことのできない弯曲角や、曲率半径をパラメータにした検討を実施することになろう。

参考文献

- 1) 久宝 保 (1951): 土砂の水中傾斜角について, 土木技術資料 第6巻, 第5号.
- 2) 芦田和男・大槻英樹・戸田圭一 (1995): 多自然型河川工法の実験的検討, 河川環境総合研究所報告, 第1号.
- 3) 大槻英樹・芦田和男・戸田圭一・大本雄二 (1995): 弯曲部における多自然型護岸に関する実験的研究, 第50回 土木学会年次学術講演会講演 概要集.
- 4) 水理公式集 (1985): 土木学会, p223 (斜面上の砂礫の限界掃流力).
- 5) 芦田和男・江頭進治・加本 実 (1983): 山地流域における侵食と流路変動に関する研究(2), 京都大学防災研究所年報, 第26号 B-2.
- 6) 吉川秀夫・立石芳信 (1995): テングーバッグによる河川環境の創出, 河川環境総合研究所報告, 第1号.

複断面湾曲部の流速分布と河床変動数値シミュレーション

芦田 和男*・大槻 英樹**・劉 炳 義***
大本 雄二****・藤田 暁*****

要 旨

著者らは多自然型護岸工の設計基準づくりに資する情報を提供することを目的として、多自然型護岸工の水理特性と適用基準に関して、相互的に補完する水理実験と数値シミュレーションの両手法を用いて研究を進めている。本稿は、数値シミュレーション手法を用いて様々な河道条件および水理条件に対して詳細な検討を展開していくための第一歩となる数値シミュレーションモデルの構築に関する研究成果をとりまとめたものである。

シミュレーションモデルは、実用性と汎用性を図るため、一般直交曲線座標系を採用した平面二次元浅水流モデルと縦・横断河床勾配を考慮した混合砂河床変動モデルから構成されている。モデルの妥当性を検証するため、多自然型護岸工を施した複断面湾曲流路での水理実験を用いて検証シミュレーションを行った。様々な水理条件下の水位、流速および河床変動量に関する実験結果と計算結果との比較により、モデルの適用性を明らかにした。特に、根固め工のある場合とない場合の河床変動の違いについても、モデルの再現性が確認された。

1. はじめに

近年、多自然型川づくりが広く進められている。実際に施工されつつある多自然型護岸は、河川の規模や周囲の環境などが多岐に亘るために、工法の種類や、材料の大小形状は様々である。洪水時の安全を考えると、多自然型護岸を設計・施工する際に、河岸を保護し、河道の安定を図るという本来の目的も疎かにできない¹⁾。しかし、どのような河道条件や水理条件のも

とで、どのような護岸工法が適用できるかの基準が現在の所必ずしも明らかでなく、実施にあたっては、河川技術者が経験に基づいて試行錯誤的に行っているのが実状である²⁾。従って、多自然型川づくり事業を推進するにあたっては、本来の治水目的を損ねない多自然型護岸工の設計基準の整備が、現実的にきわめて重要な意味を持つ。

そこで、著者らはそれに資する情報を提供するため、実験的な研究²⁾を進めると同時に、研究成果の一般性を図るため、水理検討に欠かせない重要な手段となった数値解析の手法を用いて、多自然型護岸工の水理特性と適用基準について詳細な検討を進めている。本稿は、その第一歩となる実用性・汎用性のある数値シミュレーションモデルの構築に関する研究成果をとりまとめたものである。モデル自体は任意の河道条件にも適用できるように構築されているが、その妥当性を検証するために、ここでは多自然型護岸工に対する実験的検討の際に行われた、複断面湾曲部の流れと河床変動に関する水理実験³⁾に準拠した数値シミュレーションを実施し、得られた結果について比較検討を行い、モデルの有効性を確認した。

2. シミュレーションモデルの概要

縦・横断方向の河床変動に関する数値シミュレーションについては、これまで多くの研究が行われてきた。それらの研究はその流れ場の扱い方によって、大きく二次元モデル^{4), 5)}と三次元モデル^{6), 7), 8)}(厳密に言えば、ほとんどは準三次元となる)に分けられる。現時点で実用性の観点から見れば、二次元モデルは、三次元性の強い局所流れの表現には無理があるものの、一般的な実河川の河床変動に関してはほぼ十分な精度の解析

* 芦田 和男 (財)河川環境管理財団 大阪研究所長
** 大槻 英樹 (財)河川環境管理財団 大阪研究所 主任研究員
*** 劉 炳 義 (株)ニュージェック 河川・海岸部
**** 大本 雄二 (株)ニュージェック 河川・海岸部
***** 藤田 暁 (株)ニュージェック 河川・海岸部

を行うことができると考えられる。そこで、今後の幅広い応用を想定し、従来の著者らの研究成果^{9, 10, 11)}を基に、実用性・汎用性のある二次元河床変動シミュレーションモデルを構築した。モデルは直交曲線座標系を採用しているため、任意の平面形状をもつ河道にも容易に応用できる。また、掃流砂量の算定には、縦・横断勾配の影響を考慮したモデルを用い、さらには河床材料を混合砂として扱い、その解析に従来の交換層の概念に遷移層と堆積層を導入した多層モデルを用いているため、かなりの一般性を持つモデルとなっている。以下に、本シミュレーションモデルの概要について述べる。

2.1 支配方程式

2.1.1 直交曲線座標系

複雑な形状を有する実河川に対しても精度よく解析できるように、本モデルは図2・1に示すような境界に相応した直交曲線座標系 (Boundary-fitted orthogonal curvilinear coordinates) を用いる。ここに、 ξ と η は水平面上 (Horizontal-plane) における直交曲線座標軸であり、 z は鉛直軸 (上向きを正とする) である。任意の三次元直交曲線座標系と区別するため、この座標系は“河道型直交座標系”と呼ばれている¹¹⁾。

$\eta = \text{constant}$ と $\xi = \text{constant}$ の曲線軸上の長さは、それぞれ s, n で表され、測度係数 $h_\xi(\xi, \eta)$ と $h_\eta(\xi, \eta)$ が次式で定義される。

$$\begin{cases} \delta_s = h_\xi(\xi, \eta) \delta\xi \\ \delta_n = h_\eta(\xi, \eta) \delta\eta \end{cases} \dots\dots\dots(2.1)$$

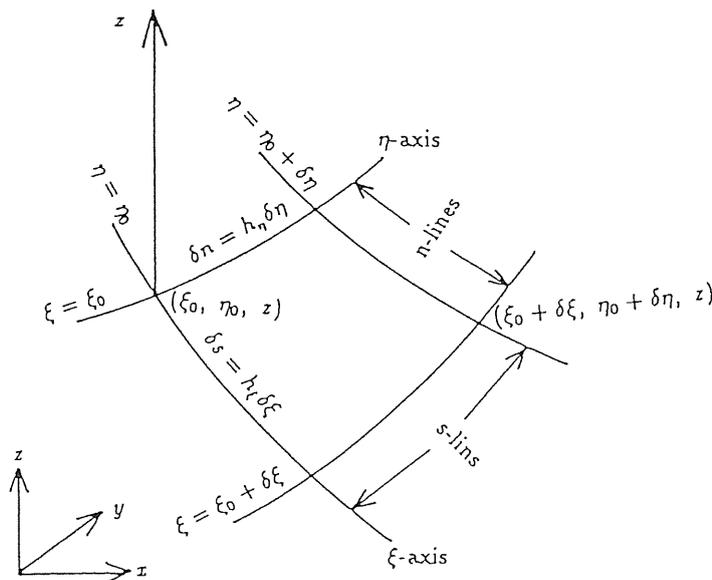


図2・1 河道型直交曲線座標系

それぞれ s-lines と n-lines が正の方向に発散する場合における n-lines と s-lines の曲率を正とする場合、次式が得られる。

$$\begin{cases} \frac{1}{r_s} = \frac{1}{h_\xi h_\eta} \frac{\partial h_\xi}{\partial \eta} \\ \frac{1}{r_n} = \frac{1}{h_\xi h_\eta} \frac{\partial h_\eta}{\partial \xi} \end{cases} \dots\dots\dots(2.2)$$

ここに、 r_s と r_n はそれぞれ s-line と n-line の曲率半径である。

2.1.2 二次元浅水流モデル

直交曲線座標系において、二次元浅水流モデルの連続式は次のように表される。

$$\frac{\partial(u_s h)}{\partial s} + \frac{\partial(u_n h)}{\partial n} + \frac{u_s h}{r_n} + \frac{u_n h}{r_s} = 0 \dots\dots\dots(2.3)$$

ここに、 u_s, u_n はそれぞれ s 方向・n 方向の水深平均流速、 h は水深、 r_s, r_n は s-line と n-line の曲率である。

また、圧力分布として静水圧を仮定すると、水深平均流の運動方程式は次のようになる。

s 方向 :

$$\begin{aligned} u_s \frac{\partial u_s}{\partial s} + u_n \frac{\partial u_s}{\partial n} + \frac{u_s u_n}{r_s} - \frac{u_n^2}{r_n} \\ = -g \frac{\partial z_s}{\partial s} + \frac{\partial}{\partial s} \left[\frac{\tau_{ss}}{\rho} \right] + \frac{\partial}{\partial n} \left[\frac{\tau_{sn}}{\rho} \right] \\ - \frac{1}{h} \frac{\tau_{sb}}{\rho} + \frac{2}{r_s} \frac{\tau_{sn}}{\rho} + \frac{1}{r_n} \frac{\tau_{ss} - \tau_{nn}}{\rho} \end{aligned} \dots\dots\dots(2.4)$$

n 方向 :

$$u_s \frac{\partial u_n}{\partial s} + u_n \frac{\partial u_n}{\partial n} + \frac{u_s u_n}{r_n} - \frac{u_n^2}{r_s} \\ = -g \frac{\partial z_s}{\partial n} + \frac{\partial}{\partial n} \left[\frac{\tau_{nn}}{\rho} \right] + \frac{\partial}{\partial s} \left[\frac{\tau_{sn}}{\rho} \right] \\ - \frac{1}{h} \frac{\tau_{nb}}{\rho} + \frac{2}{r_n} \frac{\tau_{sn}}{\rho} + \frac{1}{r_s} \frac{\tau_{nn} - \tau_{ss}}{\rho} \dots\dots\dots (2.5)$$

ここに、 g は重力加速度、 h は水深、 z_s は水位、 τ_{sb} 、 τ_{nb} はそれぞれ河床せん断力の s 、 n 成分、 ρ は水の密度、 τ_{ss} 、 τ_{nn} 、 τ_{sn} は乱れによるせん断力である。

τ_{ss} 、 τ_{nn} 、 τ_{sn} は、渦動粘性係数 ε を導入することにより次式で与えられる。

$$\frac{\tau_{ss}}{\rho} = 2\varepsilon \left[\frac{\partial u_s}{\partial s} + \frac{u_n}{r_s} \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\frac{\tau_{nn}}{\rho} = 2\varepsilon \left[\frac{\partial u_n}{\partial n} + \frac{u_s}{r_n} \right] \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\frac{\tau_{sn}}{\rho} = \varepsilon \left[\frac{\partial u_s}{\partial n} + \frac{\partial u_n}{\partial s} - \frac{u_s}{r_s} - \frac{u_n}{r_n} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

また、渦動粘性係数 ε は次式で与える。

$$\varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \dots\dots\dots (2.9)$$

ここに、 κ はカルマン定数 (=0.4)、 u_* は摩擦速度である。

河床せん断応力は河床抵抗係数 C_f を用いて次式で与えることとする。

$$\begin{cases} \frac{\tau_{sb}}{\rho} = C_f u_s \sqrt{u_s^2 + u_n^2} \\ \frac{\tau_{nb}}{\rho} = C_f u_n \sqrt{u_s^2 + u_n^2} \end{cases} \dots\dots\dots (2.10)$$

従って、摩擦速度は次式で与えられる。

$$u_*^2 = C_f (u_s^2 + u_n^2) \dots\dots\dots (2.11)$$

マニング粗度係数を用いる場合には、次式で C_f に換算される。

$$C_f = g \cdot n^2 / h^{1/3} \dots\dots\dots (2.12)$$

ここに、 n はマニングの粗度係数である。

側壁においては、 s 方向の流速は 0 でないと仮定する Slip-Velocity の概念を導入する。その大きさを u_w とすると、側壁においてせん断応力 τ_{sn} は次式で与えられる。

$$\left. \frac{\tau_{sn}}{\rho} \right|_{\text{at the side walls}} = C_w u_w^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

ここに、 C_w は側壁における抵抗係数である。

2.1.3 河床変動および粒度分布モデル

実河川の河床は広い粒度分布を持つため、本モデルでは一様砂のみならず混合砂をも対象とする。河床材料の粒度は離散変量として扱う。質量保存則より、河床位方程式および河床の粒度分布式は、直交曲線座標系においてそれぞれ次のように表される⁵⁾。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \sum \left[\frac{\partial q_{bsk}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bnk}}{\partial n} + \frac{q_{bsk}}{r_n} + \frac{q_{bnk}}{r_s} \right] = 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\frac{\partial p_{bk}}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)E_m} \left[\frac{\partial q_{bsk}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bnk}}{\partial n} + \frac{q_{bsk}}{r_n} + \frac{q_{bnk}}{r_s} \right] \\ + \frac{1}{E_m} \frac{\partial z_b}{\partial t} \{ \eta p_{bk} + (1-\eta) p_{bk0} \} = 0 \dots\dots (2.15)$$

ここに、下付き k は粒径階の指標、 t は時間、 λ は河床材料の空隙率、 z_b は河床位、 q_{bsk} 、 q_{bnk} はそれぞれ粒径階 D_k の s 、 n 方向の単位幅流砂量、 p_{bk} は混合層における粒径階 D_k の含有率、 E_m は混合層の厚さ (D_{90} とする)、 η は係数で、浸食の時 $\eta = 0$ 、堆積の時 $\eta = 1$ である。

縦・横断方向の粒径別流砂量の算定には、底面流速の流向および河床勾配を考慮した方法¹¹⁾を用いて求める。

$$\begin{cases} q_{bnk} = q_{bsk} \cdot \tan \beta_k \\ q_{bsk} = q_{bk} \cdot \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \theta_s + \cos^2 \theta_n \tan^2 \beta_k + 0.5 \sin 2\theta_s \sin 2\theta_n \tan \beta_k}} \end{cases} \dots\dots\dots (2.16)$$

ここに、 q_{bk} はクラス k の砂粒子の単位幅流砂量、 θ_s と θ_n はそれぞれ河床の s 、 n 方向の傾斜角である。 β_k は流砂方向と s 軸とのなす角であり、次式で与えられる。

$$\tan \beta_k = \frac{\sin \alpha - \Pi \Theta_n \frac{\tau_{ck0}}{\tau_{k0}} \frac{\partial z}{\partial n}}{\cos \alpha - \Pi \Theta_s \frac{\tau_{ck0}}{\tau_{k0}} \frac{\partial z}{\partial s}} \dots\dots\dots (2.17)$$

ここに、 α は流れの底面流速の流向角 (= $\arctan(u_{bs}/u_{bn})$)、 τ_{ck0} はクラス k の砂粒子の水平床での無次元限界掃流力、 τ_{k0} は流れの無次元掃流力 (= $\sqrt{\tau_{bs}^2 + \tau_{bn}^2} / (\rho R g D_k)$)、 g は重力加速度、 R は砂粒子の水中比重 ($\rho_s/\rho - 1$)、 ρ_s は砂粒子の密度、 ρ は流体の密度、 Π 、 Θ_s 、 Θ_n は係数であり、それぞれ次のように定義されている。

$$\begin{cases} \Pi = k_\ell + \frac{1}{\mu_s} \\ \theta_n = \frac{1}{1 + \tan^2 \theta_s + \tan^2 \theta_n} \dots\dots\dots(2.18) \\ \theta_s = \theta_n + \frac{\cos^2 \theta_s}{R} \end{cases}$$

ここに、 k_ℓ は砂粒子に働く流体揚力と抗力の比例係数、 μ_s は砂粒子の静止摩擦係数である。

τ_{ck0} は次式で示す修正 Egiazaroff¹²⁾ の式で求める。

$$\frac{\tau_{ck0}}{\tau_{cm0}} = \begin{cases} 1.64/(\log_{10} 19D_k/D_m)^2 D_k/D_m \geq 0.4 \\ 0.85D_m/D_k & D_k/D_m < 0.4 \end{cases} \dots\dots\dots(2.19)$$

ここに、 τ_{cm0} は粒径が平均粒径 D_m である一様砂の水平床上での無次元掃流力であり、岩垣の式¹³⁾を用いる。

粒径階 D_k の流砂量 q_{bk} の算定には、芦田・道上式¹²⁾に斜面勾配を考慮した次式を用いている。

$$\frac{q_{bk}}{\sqrt{RgD_k^3}} = 17p_{bk} \tau_{ck}^{3/2} \left[1 - \frac{K_c \tau_{ck0}}{\tau_{kf}} \right] \left[1 - \sqrt{\frac{K_c \tau_{ck0}}{\tau_{kf}}} \right] \dots\dots\dots(2.20)$$

ここに、 τ_{ck} はクラス k の砂粒子に働く流れおよび斜面勾配による重力と浮力による無次元掃流力、 τ_{kf} は傾斜床面上にあるクラス k の砂粒子に働く流れの無次元掃流力である。 K_c は河床勾配および流向の影響を考慮する係数であり、次の近似式で与えられる。

$$K_c = 1 + \frac{1}{\mu_s} \left[\left(1 + \frac{1}{R} \right) \cos \alpha \frac{\partial z}{\partial s} + \sin \alpha \frac{\partial z}{\partial n} \right] \dots\dots(2.21)$$

また、 τ_{kf} と τ_{ck} は次式で算定される。

$$\begin{cases} \tau_{kf} = \tau_{k0} \cdot \\ \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \theta_s} + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \theta_n} + \tan \theta_s \tan \theta_n \sin 2\alpha} \\ \tau_{ck} = \tau_{k0} \cdot \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \sin \theta_s \sin \theta_n} \end{cases} \dots\dots\dots(2.22)$$

ここに、係数 a_1, a_2 は次のように与える。

$$\begin{cases} a_1 = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta_s} - \left[\frac{1}{R} + \frac{\cos^2 \theta_n}{1 - \sin^2 \theta_s \sin^2 \theta_n} \right] \Pi \sin \theta_s \frac{\tau_{ck0}}{\tau_{k0}} \\ a_2 = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta_n} - \frac{\cos^2 \theta_s}{1 - \sin^2 \theta_s \sin^2 \theta_n} \Pi \sin \theta_n \frac{\tau_{ck0}}{\tau_{k0}} \end{cases} \dots\dots\dots(2.23)$$

図2.2 スタッガード格子における流速・水位の計算点と各コントロール・ボリュームの配置

2.2 流れ場の解析

本数値計算においては、流速 u_s, u_n 、水位 z_s の計算点を図2.2のように互いにずらして配置したスタッガード格子を採用する。

運動方程式の離散化に当たって、移流項に関して風上差分、粘性項に関して中央差分を行う。紙面の関係で結果だけを以下に示す。

s 方向と n 方向の流速に関する差分式はそれぞれ次のようになる。

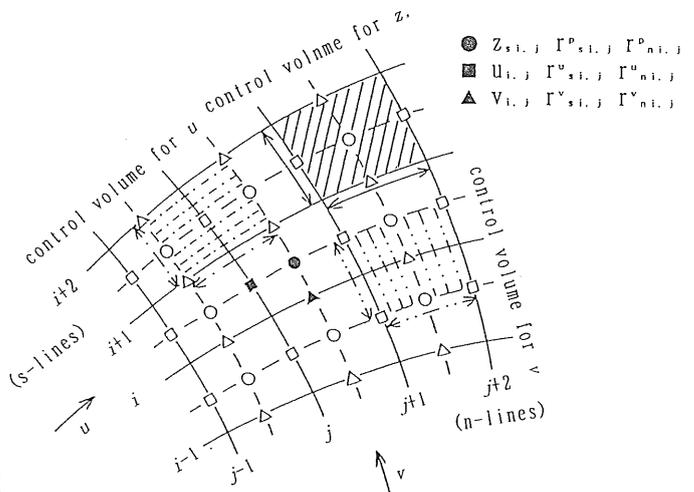
$$\begin{aligned} u_{si,j} &= \frac{1}{a_{u5i,j}} (a_{u1i} u_{si,j-1} + a_{u2i} u_{si,j+1} + a_{u3i} u_{si-1,j} \\ &\quad + a_{u4i} u_{si+1,j} + c_{ui,j}) + \frac{b_{ui,j}}{a_{u5i,j}} (z_{si,j} - z_{si,j-1}) \\ &= \frac{1}{a_{u5i,j}} \left\{ \sum_{k=1}^4 a_{uki} u_{sk} + c_{ui,j} \right\} \\ &\quad + \frac{b_{ui,j}}{a_{u5i,j}} (z_{si,j} - z_{si,j-1}) \dots\dots\dots(2.24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{ni,j} &= \frac{1}{a_{v5i,j}} (a_{v1i} u_{ni-1,j} + a_{v2i} u_{ni+1,j} + a_{v3i} u_{si,j-1} \\ &\quad + a_{v4i} u_{si,j+1} + c_{vi,j}) + \frac{b_{vi,j}}{a_{v5i,j}} (z_{si,j} - z_{si-1,j}) \\ &= \frac{1}{a_{v5i,j}} \left\{ \sum_{k=1}^4 a_{vki} u_{nk} + c_{vi,j} \right\} \\ &\quad + \frac{b_{vi,j}}{a_{v5i,j}} (z_{si,j} - z_{si-1,j}) \dots\dots\dots(2.25) \end{aligned}$$

水位に関する差分式は、 $z_{si,j}$ を計算するコントロール・ボリューム全体にわたって連続式を積分することより導かれる。

$$z_{si,j} = \frac{1}{a_{p5i,j}} \left(\sum_{k=1}^4 a_{pki} z_{sk} + c_{pi,j} \right) \dots\dots\dots(2.26)$$

計算方法については、Patankar の SIMPLER 法¹⁴⁾を用いる。



2.3 河床変動および粒度分布の解析

前節で記述された流れの解析モデルを用いて、河床変動および粒度分布の解析を行う。

流れが定常状態に達するための時間は、河床変動の進行速度に対して十分小さいと考えられるので、ある河床形状における流れは常に定常であるとする。まず、流れの解析モデルを用いて、ある河床形状に対する流れ場を求める。ついで、その流れが Δt 時間変化しないと仮定し、流砂の連続条件よりその間の河床変動量および粒度分布の変化が求まる。これを繰り返すことにより、河床変動を求めることができる。

2.3.1 底面流速の算定

上述の浅水流モデルにより求まる流速は水深平均流速であり、底面付近の流速は求まらない。しかしながら、流砂方向に大きな影響を与えるのは流れによる河床せん断力の方向、すなわち、底面流速の方向である。従って、河床変動を正確に計算するためには、底面流速の評価が肝要である。

主流方向が s 軸をなす角を ϕ 、主流方向及び s 方向・ n 方向の水深平均流速をそれぞれ u_p 、 u_s 、 u_n とすると次式の関係がある。

$$u_p = u_s \cos \phi + u_n \sin \phi \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

ここで、主流方向に対数則分布が成立すると仮定し、底面流速として相当粗度高さの流速を用いると次式が得られる。

$$u_{bp} = 8.5\sqrt{C_f(u_s^2 + u_n^2)} \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

ただし、 u_{bp} は主流方向の底面流速、 C_f は河床抵抗係数である。

二次流の底面流速については、一様弯曲流路における発達したらせん流による底面流速式⁸⁾を用いる。

$$u_{bh} = -N_r \frac{h}{r} u_{bp} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

ここに、 u_{bh} は底面における二次流速、 h は水深、 r は流線の曲率半径、 N_r はらせん流の強度を表わす係数である。Engelund¹⁵⁾ は、 N_r として一定値 7 を用いることにより、二次流を約 3% 以内の誤差で表現可能であるとしているので、本研究においても $N_r = 7$ を用いる。

流れの曲率は次式で計算される。

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{(u_s^2 + u_n^2)^{3/2}} \left[u_s \left[\frac{\partial u_y}{\partial s} u_x - \frac{\partial u_x}{\partial s} u_y \right] + u_n \left[\frac{\partial u_y}{\partial n} u_x - \frac{\partial u_x}{\partial n} u_y \right] \right] \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

ここに、 $u_x = u_s \cos \theta - u_n \sin \theta$ 、 $u_y = u_s \sin \theta + u_n \cos$

θ であり、 θ は s -line と x 軸との交角である。

計算に実際に必要であるのは s 方向及び n 方向の河床流速 u_{bs} 、 u_{bn} であり、次式で得られる。

$$\begin{cases} u_{bs} = u_{bp} \cos \phi - u_{bh} \sin \phi \\ u_{bn} = u_{bp} \sin \phi + u_{bh} \cos \phi \end{cases} \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

2.3.2 河床位の計算

二次元河床変動の計算を行う際には、式 (2.14) を離散化して計算するわけであるが、流砂量の計算地点、差分法の選定の違いによっていくつかの方法が考えられる。本計算モデルにおいては、図 2.3 に示すように、 s 方向の流砂量 q_{snk} 、 n 方向の流砂量 q_{bnk} および河床位 z_b の配置点を、それぞれ流速 u_s 、 u_n および水位 z_s と同一にする。式 (2.14) を z_b を囲むコントロール・ボリュームについて積分すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} z_b^{n+1}(i, j) = & z_b^n(i, j) - \frac{\Delta t}{1-\lambda} \sum_{k=1}^{Nk} (q_{bsk}^n(i, j+1) \Delta n_{i, j+1}^p \\ & - q_{bsk}^n(i, j) \Delta n_{i, j}^p + q_{bnk}^n(i+1, j) \Delta s_{i+1, j}^p \\ & - q_{bnk}^n(i, j) \Delta s_{i, j}^p) / (\Delta s_{i+1, j}^u \cdot \Delta n_{i, j+1}^u) \quad \dots\dots\dots(2.32) \end{aligned}$$

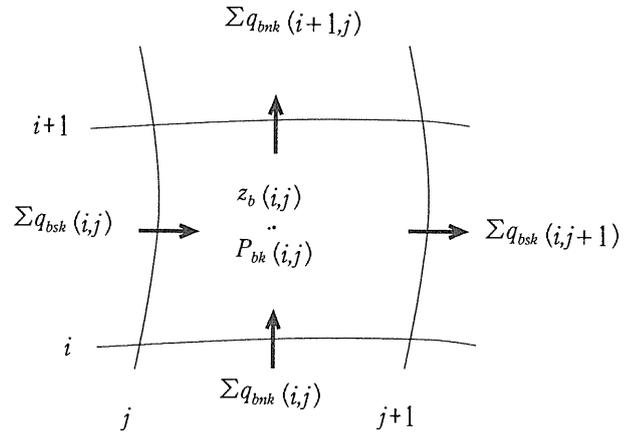


図 2.3 河床変動計算のコントロール・ボリューム

2.3.3 粒度分布の計算

河床変動に伴う河床材料の粒度分布を数値的に求めるために、従来より、河床面を含む河床表層（混合層あるいは交換層と呼ばれている）の概念がよく用いられてきた。式 (2.15) に示されたように、混合砂礫床の上のある地点における河床表層の粒度分布を解くためにはその下層の粒度分布の情報が必要である。変動が浸食一方の場合、堆積一方の場合、および浸食が起こったのち堆積一方に転じる場合には、下層の粒度分布は簡単に与えられる。しかし、浸食と堆積が繰り返される場合には、問題が複雑になる。このような場合に、

河床表層に限らず河床の深さ方向の粒度分布の時間変化を計算する必要がある。特に数値計算においては、上述の三つのケースにおいても、平衡河床に達する際に河床位の変動が微少ではあるが振動するため、堆積-浸食-堆積というプロセスの繰り返しが起こる。従って、河床材料の粒度分布を正確に評価するためには、深さ方向の粒度分布の状態についてもその時間変化を逐一把握しておく必要がある。

劉¹³⁾は、混合層の概念に遷移層と堆積層の概念を導入し、粒度分布の鉛直方向の変化も数値解析的に求められる計算モデルを提案した。図2・4に示すように河床を床面から順に混合層・遷移層・ N_b 個の堆積層に分ける。粒度分布は一つの層内では一様であるとする。堆積層には下から順に1から N_b までの番号をつける。すなわち、

$$z_b = E_m + E_t + N_b \cdot E_d + z_0 \dots\dots\dots(2.33)$$

ここに、 E_m は混合層の厚さ、 E_t は遷移層の厚さ、 E_d は堆積層一層あたりの厚さ、 z_0 は最下部に位置する堆積層の下辺の高さ（河床変動の及ぶ範囲の限界を表す）である。 E_d は常に一定値とするが、 E_t は河床変動に伴い変化し、次式のような制限を受ける。

$$0 < E_t \leq E_d \dots\dots\dots(2.34)$$

具体的には、例えば河床変動量 Δz_b が負の場合、すなわち侵食が起こった場合には新たな遷移層の厚さ E_t^{n+1} は

$$E_t^{n+1} = E_t^n + \Delta z_b \dots\dots\dots(2.35)$$

とする。ここで E_t^{n+1} が0または負になった場合には、堆積層のうち最上部に位置するものを遷移層に組み入れる。このとき、遷移層数はひとつ減少する。逆に Δz_b の堆積が起こった場合には、 E_t^{n+1} が堆積層の厚さ E_d よりも大きくなったときには、堆積層を新たにひとつ増加させることとする。

粒度分布の計算点を河床位のものと同じに配置し、図2・3に示されたコントロール・ボリュームについて、上述の考えと連続条件より、粒度分布および関連の各パラメータに関する計算式が導かれる。

3. シミュレーションモデルの検証

3.1 検証計算ケースおよび計算条件

3.1.1 計算ケースと計算メッシュ

モデルの妥当性を検証するため、複断面湾曲部の流れと河床変動に関して実施された水理実験に対する数値シミュレーションを行う。その結果得られる計算結果と実測データとを比較することにより、モデルの適用性を明らかにする。検証計算ケースについては表3・1に示す。また、水理実験の詳細については参考文献3)を参照されたい。

計算メッシュは図3・1(a), (b)に示すように、横断方向40メッシュ(5.0~10.0cm)、縦断方向135メッシュ(4.54~13.25cm)とする。

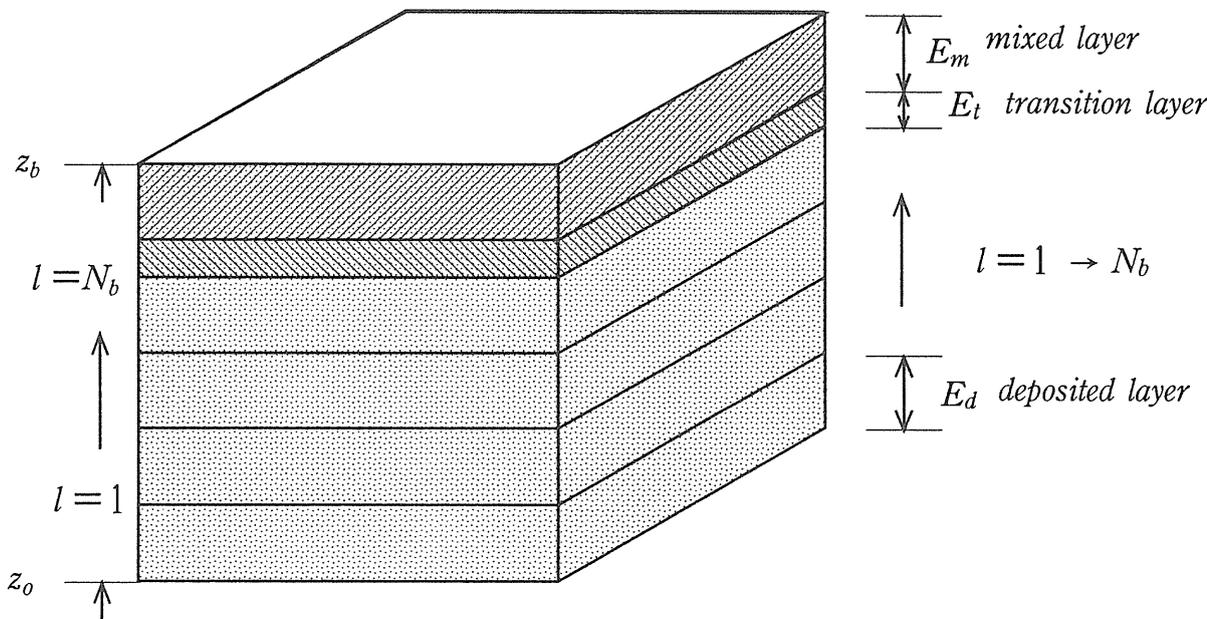


図2・4 粒度分布計算の多層モデルの模式図

表 3・1 検証計算ケース

検証 ケース名	河床 勾配	法面 勾配	低水路 幅	全水路 幅	曲率半径 (水路中心)	流量	法覆い工	根固め工	河床材料 (一様砂)
55LL -V	1/500	1:5	1.5m	2.5m	2.05m	低水路満杯(38.2l/s)	大 (5.34mm)	大(9.75mm)	1.13mm
55LN								無し	
55LLF-V						大(9.75mm)			
55LNF								無し	
52LL -V		1:2	1.2m			低水路満杯(40.4l/s)		大(9.75mm)	
52LN								無し	
52LLF-V						大(9.75mm)			
52LNF								無し	

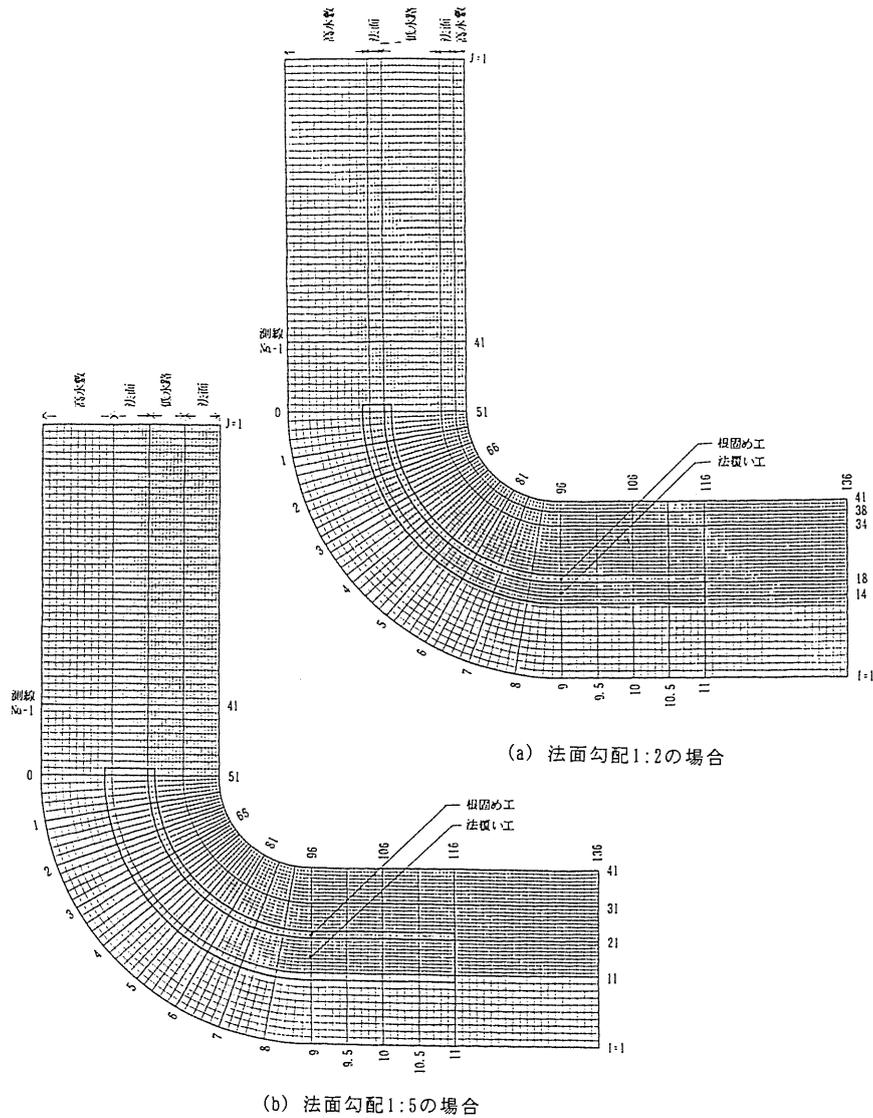


図 3・1 計算に用いたメッシュ

3.1.2 土砂水理条件

計算実施に当たって、主な土砂水理条件および諸モデル係数は表3・2に示すように与える。なお、側岸付近の河床侵食に伴って崩れた根固め工用の粗い粒子による河床の侵食抑制効果を評価するため、計算上では深掘れの河床横断勾配が粒子の動的安息角を越えないように侵食条件を設定する。

表3・2 土砂水理条件および計算パラメータ

項目	定値
マニング粗度係数	$n = 0.022$
陸地と見なす最大水深	0.003 (m)
二次流強度係数	$N_s = 7.0$
砂粒子の空隙率	$\lambda = 0.4$
砂粒子の比重	$\sigma = 2.65$
静止摩擦係数	$\mu_s = 0.8$
動的摩擦係数	$\mu_k = 0.48$
粒径分割数	$N_k = 3$
緩和係数	0.7
流速の許容誤差	$\varepsilon_v = 0.005$ (m/s)
水位の許容誤差	$\varepsilon_z = 0.001$ (m)
one-stepの河床変動最大許容量 △t自動設定用	$d_{s, set} = 0.005$ (m)

3.1.3 境界条件

境界条件については、できるだけ実験条件を反映させるように次のように与えた。

- ・上流端：水位、流速（等流計算で与える）
流砂量（芦田・道上式に基づく）
河床位（固定する）
- ・下流端：水位（等流計算で与える）
河床位（固定する）

3.2 計算結果と実験値との比較検討

計算は水理実験と同様に、初期状態の平坦河床からスタートし、河床形状がほとんど変化しない、いわゆる平衡状態になるまで計算を継続し、平衡状態に達したと判断した時点で計算を終了する。ただし、砂の移動が活発な場合には、今回の実験を含め従来の移動床実験にもよく見られるように、流量および給砂量が一定であっても、砂堆（dunes）等のような河床波（小

規模河床形態）が発生し、その移動によって局所的には河床位の変動が不安定となり、真の意味での平衡状態が得られない。そこで、計算上では、最大の侵食深と堆積高が一定の時間が経過しても平均的に見てそれらの値がほとんど変化しなくなれば、動的な平衡状態に達したと判断し、計算を終了する。

以下は各ケースについて得られた計算結果と実験結果との比較検討を行い、モデルの妥当性を検証する。

3.2.1 平坦河床から平衡河床への遷移過程

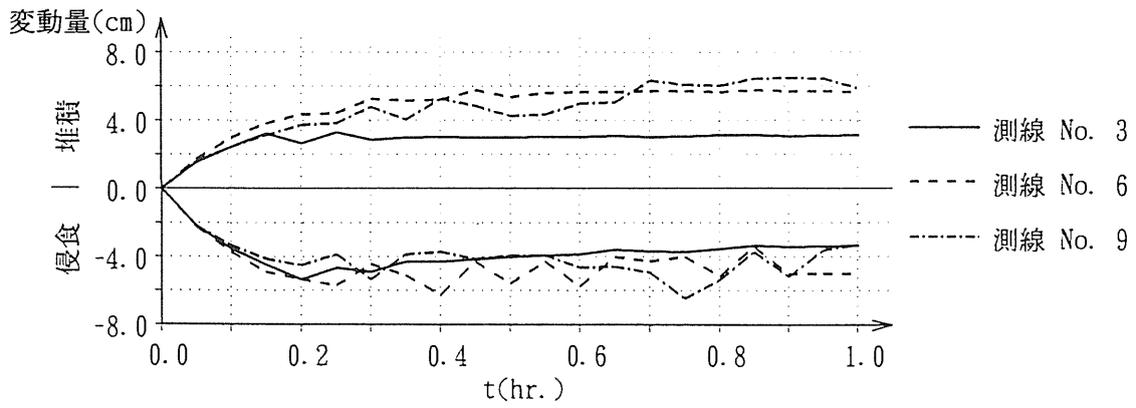
初期の平坦河床から平衡河床状態に達するまでの河床変動の遷移過程をみるために、一例として図3・2にケース55 llvの計算結果を示す。これによると、①通水初期にそれぞれ湾曲部の外岸側と内岸側の30度～90度の一帯の領域に亘って侵食と堆積が発生すること、②通水時間の経過とともに、湾曲部における侵食規模と堆積規模が同時に発達していくこと、③通水十分分で上述のような意味での動的平衡状態が形成されていること、④初期河床からの最大侵食深と最大堆積高がほぼ同程度であること、等の特徴が見られる。

これに対する水理実験の測定結果がないため、直接には比較できないが、実験当時の観察によれば、上述のような現象は実際の様相とほぼ一致すると考えられる。このように、シミュレーション上でも、湾曲部における河床変動の発達過程の様子を明瞭に再現できている。

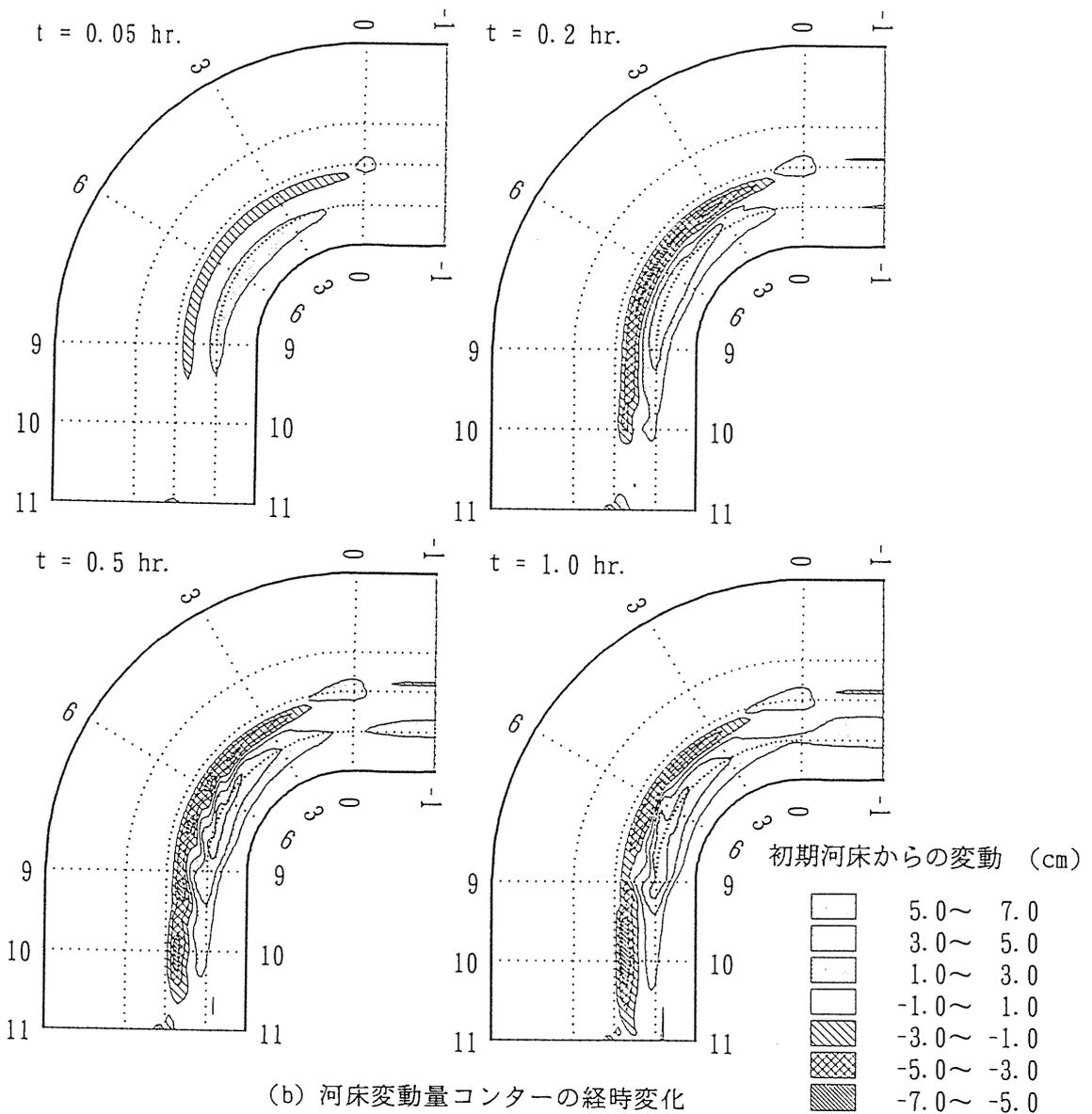
3.2.2 河床変動量の比較

表3・1に示す各ケースについて、平衡状態に達した河床の初期の状態からの変動量の計算結果および実測結果を図3・3(1)～(4)に示す。全体的に見て、外岸側の深掘れと内岸側の砂州（point bar）の位置およびその規模は、どのケースにおいても実測と計算の両者のパターンがよく一致していると評価できる。また、根固め工のない場合に対し、根固め工を付けた場合では外岸側の侵食規模が大幅に抑えられ、同時に内岸側の堆積規模も小さくなっている。水理実験において見られたこうした根固め工の効果についても、計算で同様の結果を得た。ただし、局所的には、ケースによって程度が異なるものの、実験結果と計算結果のとの間に定量的な違いも見られる。

しかしながら、河床波の消長を伴う河床変動現象そのものの複雑さおよびその機構に対する数理的な表現の近似性を考慮すると、シミュレーションでこの程度の再現性があれば、実用性の観点から見て十分にモデルの有効性があると思われる。

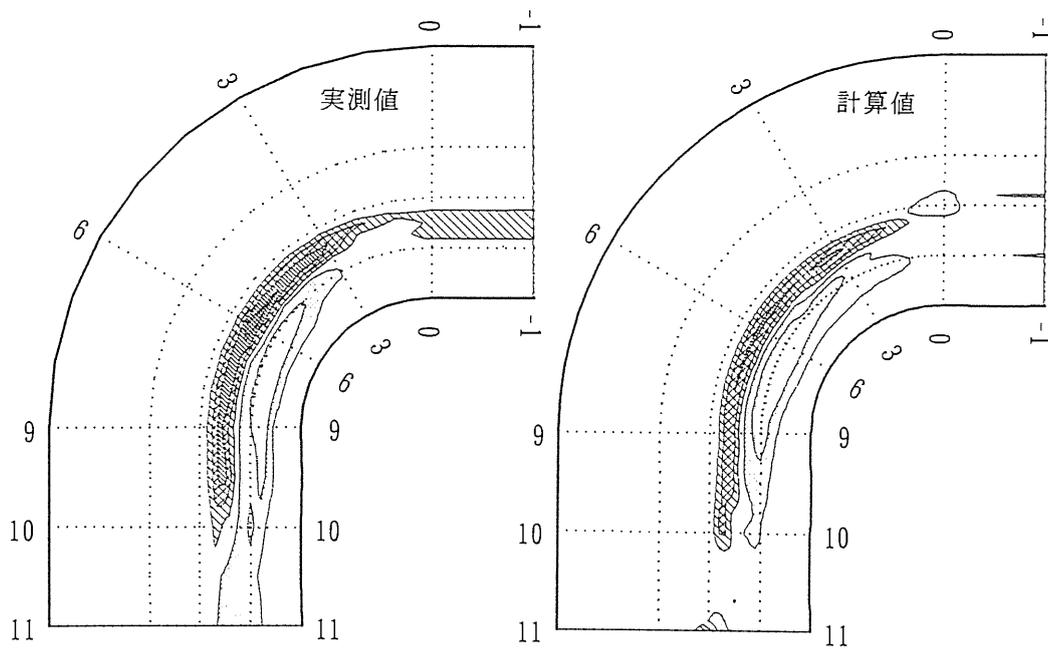


(a) 代表断面における最大侵食高・堆積高の経時変化

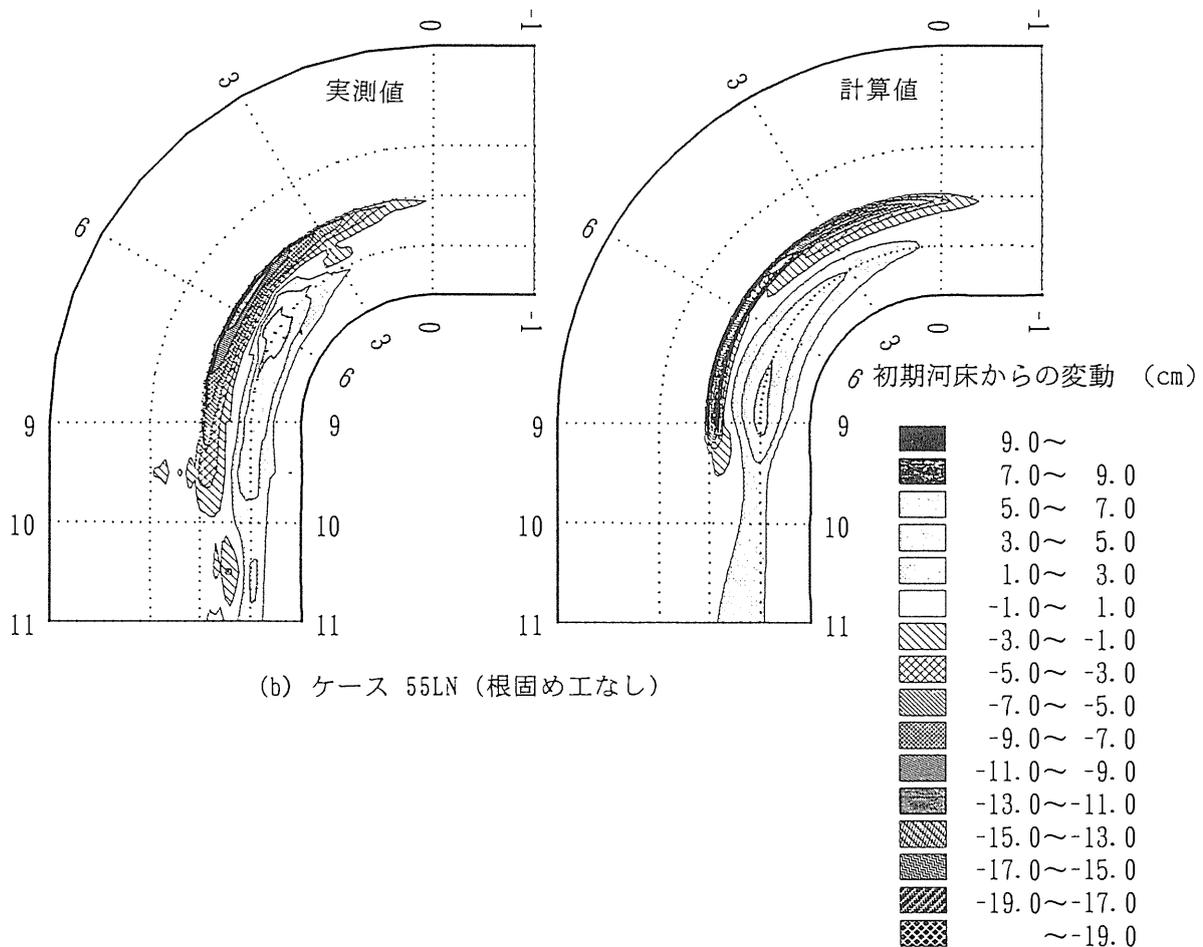


(b) 河床変動量コンターの経時変化

図3・2 初期平坦河床から平衡河床状態への遷移過程
(ケース 55LL-V の計算結果)



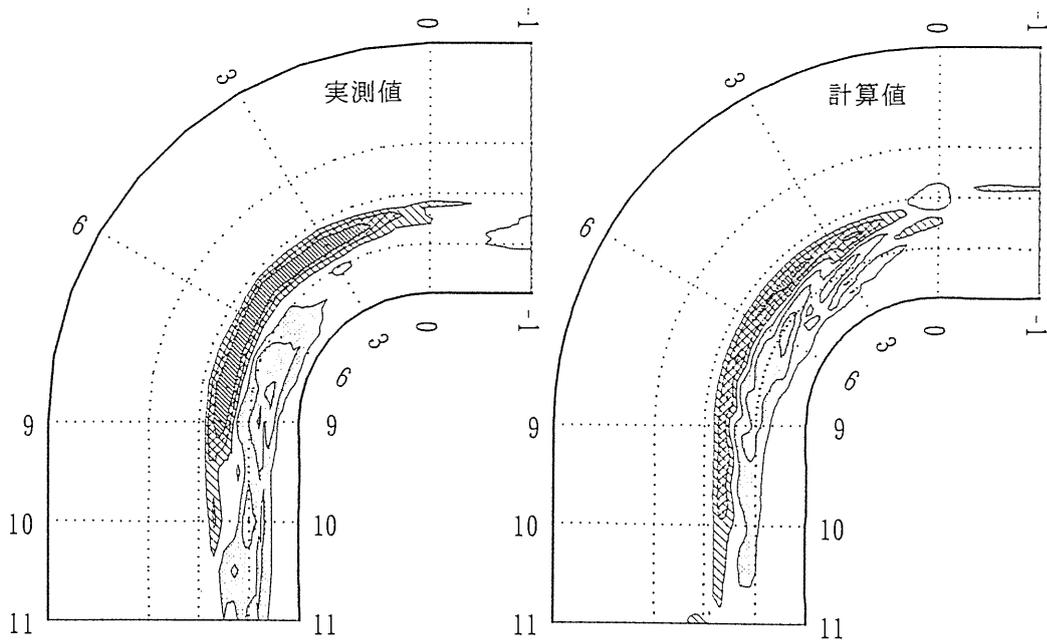
(a) ケース 55LL-V (根固め工あり)



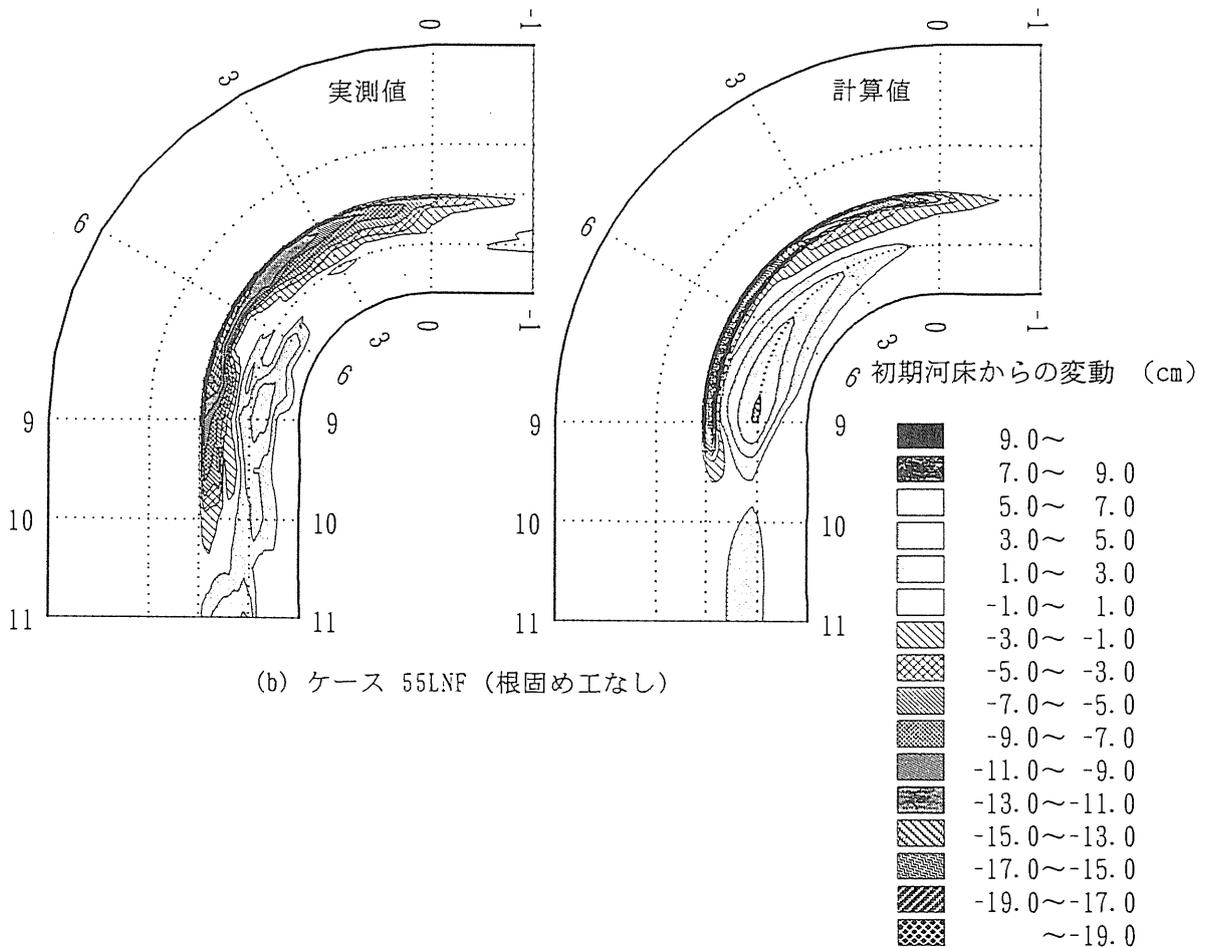
(b) ケース 55LN (根固め工なし)

図3・3(1) 河床変動量のコンターに関する比較

(ケース 55LL-V とケース 55LN, $i_b=1/500$, 法面=1:5, 低水路満杯)



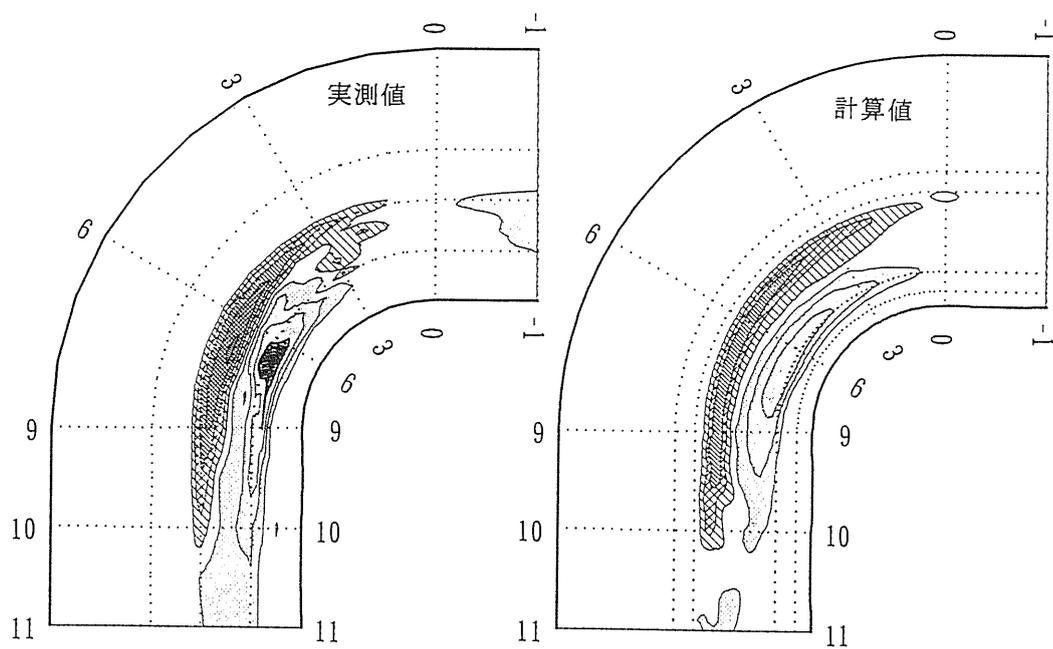
(a) ケース 55LLF-V (根固め工あり)



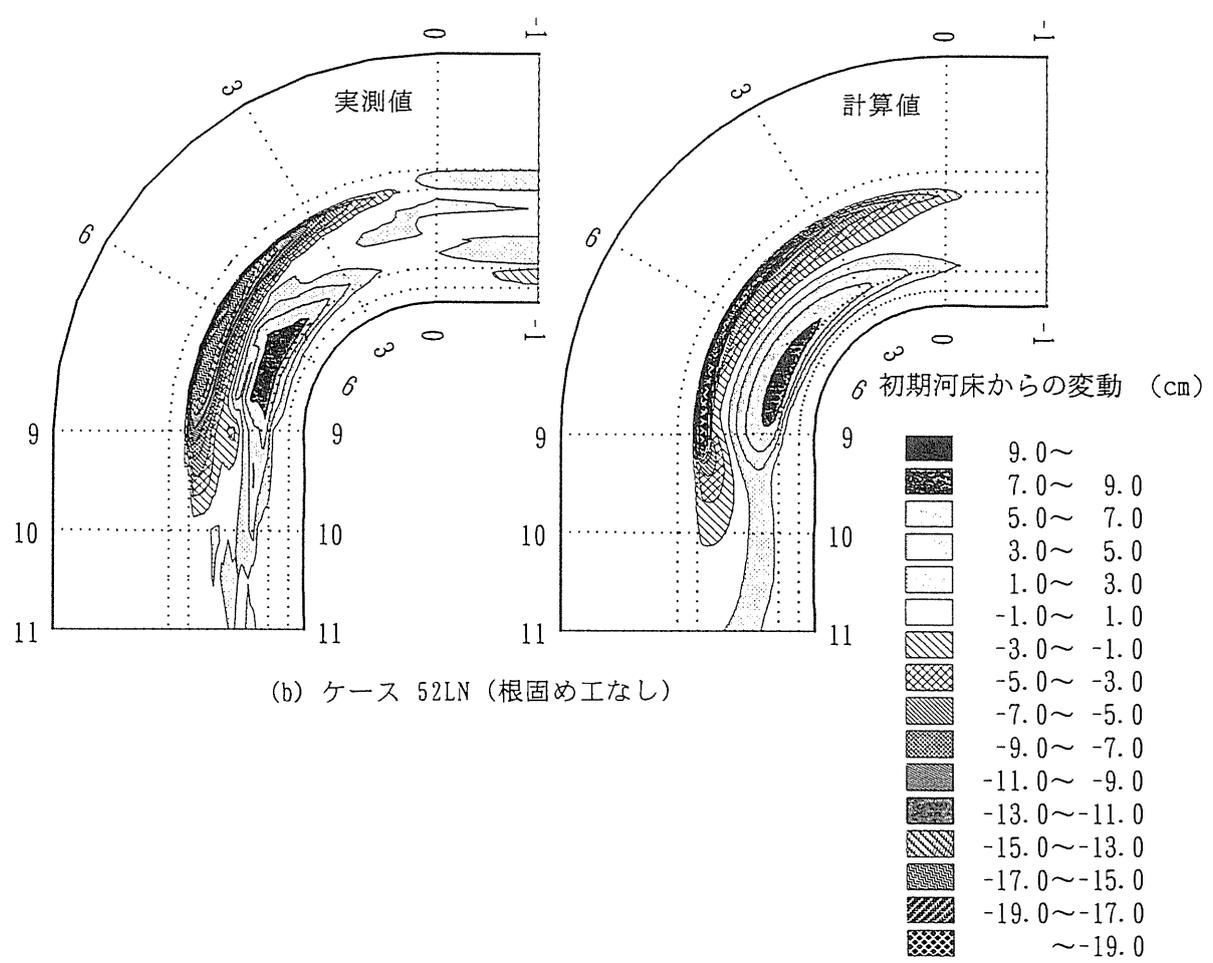
(b) ケース 55LNF (根固め工なし)

図3・3(2) 河床変動量のコンターに関する比較

(ケース 55LLF-V とケース 55LNF, $i_b=1/500$, 法面=1:5, 高水敷冠水)

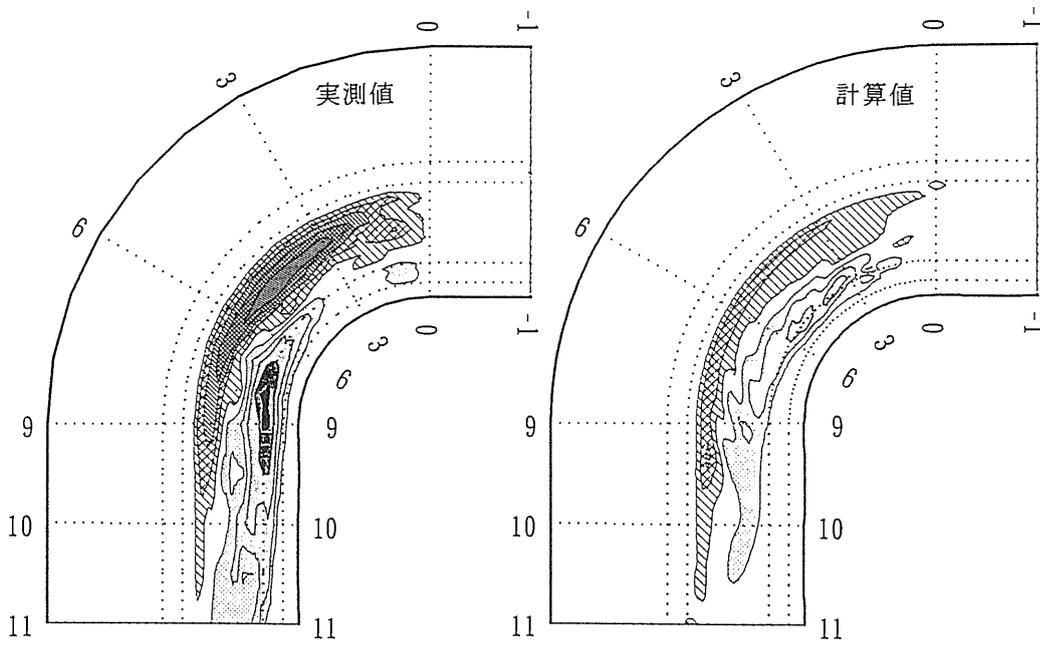


(a) ケース 52LL-V (根固め工あり)

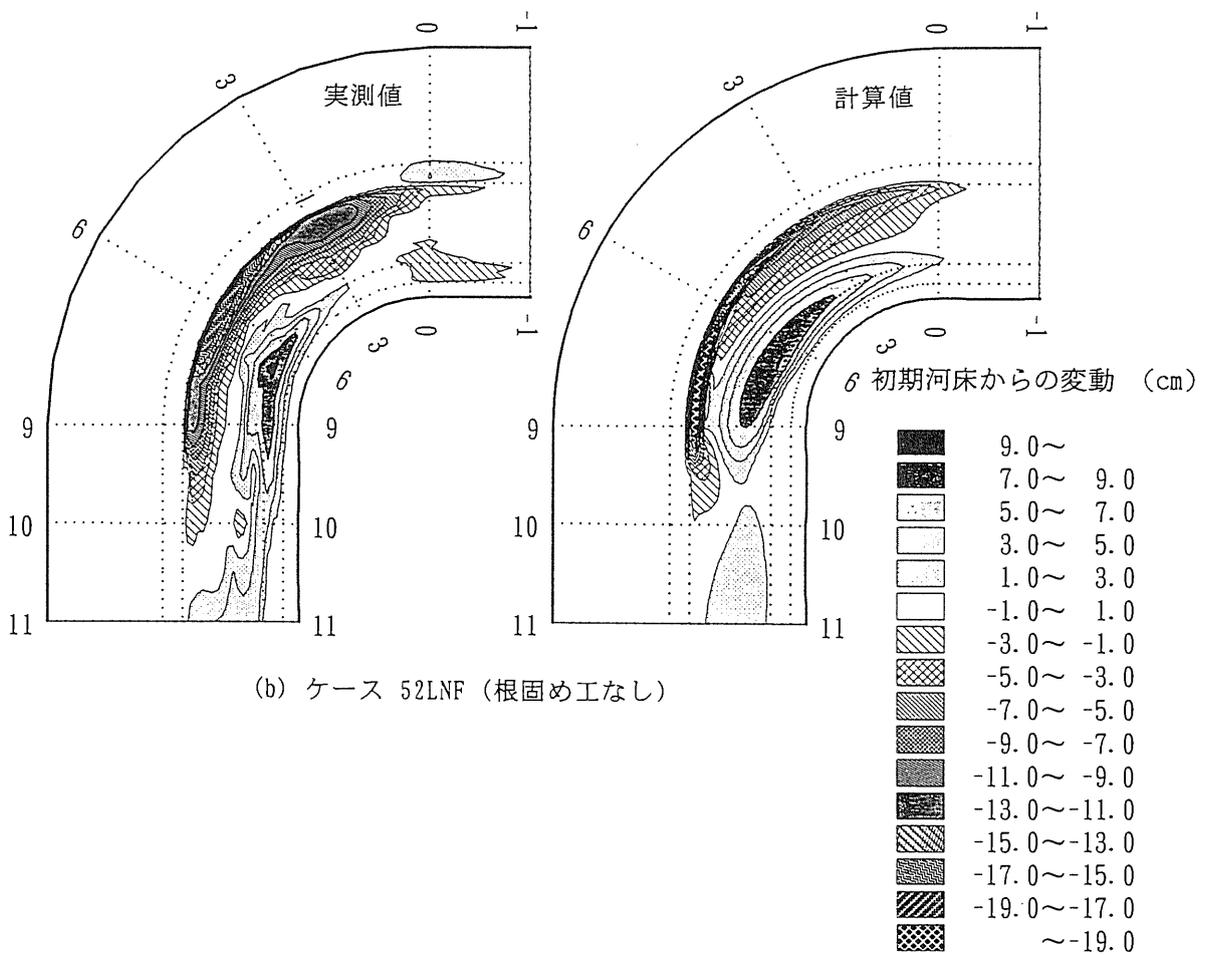


(b) ケース 52LN (根固め工なし)

図 3・3(3) 河床変動量のコンターに関する比較
 (ケース 52LL-V とケース 52LN, $i_b=1/500$, 法面=1:2, 低水路満杯)



(a) ケース 52LLF-V (根固め工あり)



(b) ケース 52LNF (根固め工なし)

図3・3(4) 河床変動量のコンターに関する比較

(ケース 52LLF-V とケース 52LNF, $i_b=1/500$, 法面=1:2, 高水敷冠水)

3.2.3 水位と河床形状の横断分布の比較

計算結果の再現性を定量的に評価するため、図3・4(1)～(4)に水位と河床形状の横断分布の比較を示す(ただし、紙面の関係で法面勾配 1:5 のシリーズについてのみ示す)。まず、水位に関しては、どのケースにおいても両者はよく一致していることが分かる。河

床形状に関しては、計算結果の再現性はよく、根固め工の有無による河床形状の違いを明確に計算している。しかし、根固め工のない場合について、計算値と実測値とで若干相違している断面も見られる。この点については、今後モデルを改善していく余地がある。

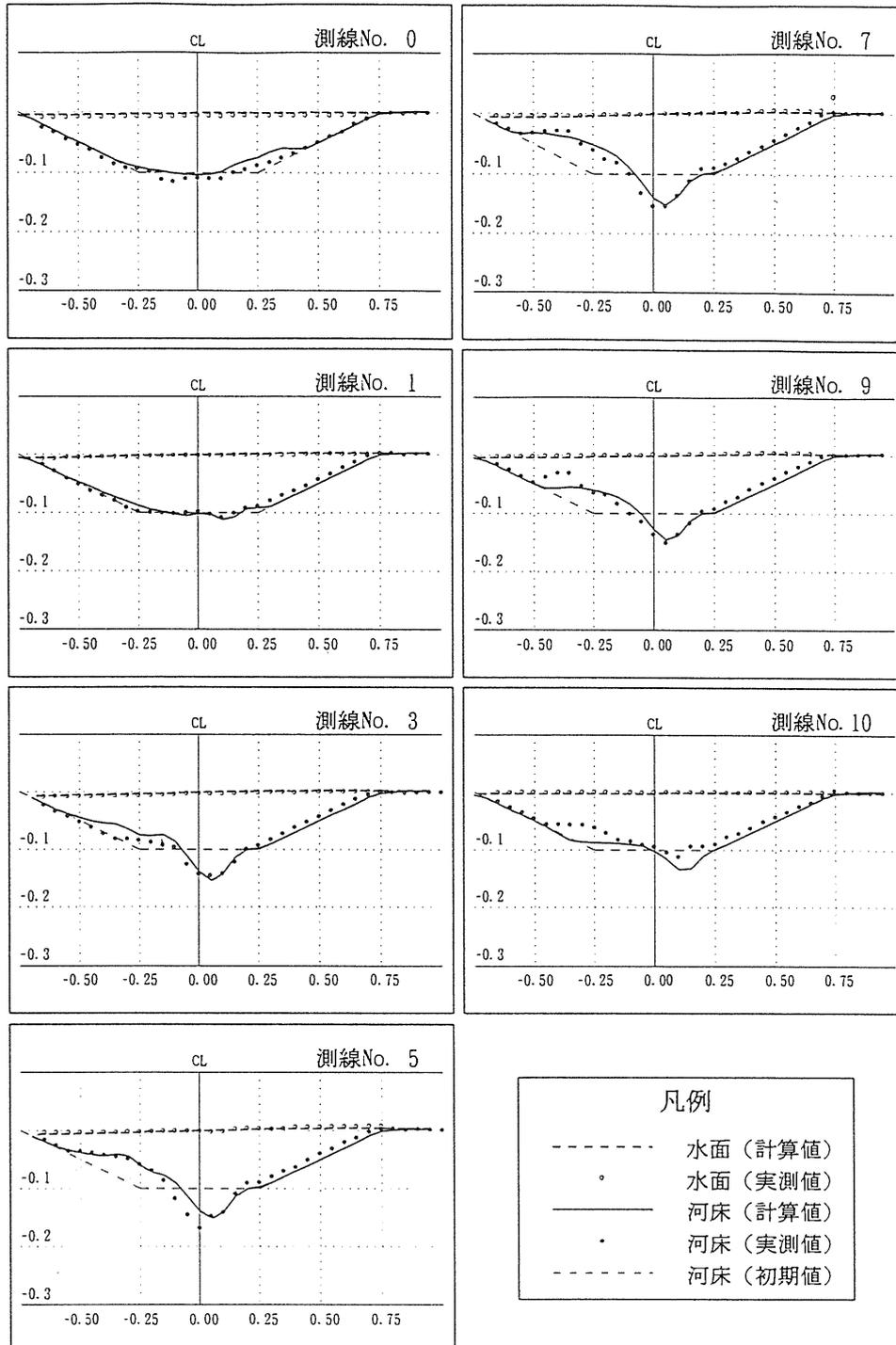


図3・4(1) 横断河床形状および水位に関する比較
 (ケース 55LL-V, $i_b=1/500$, 法面 = 1:5, 低水路満杯, 根固め工あり)

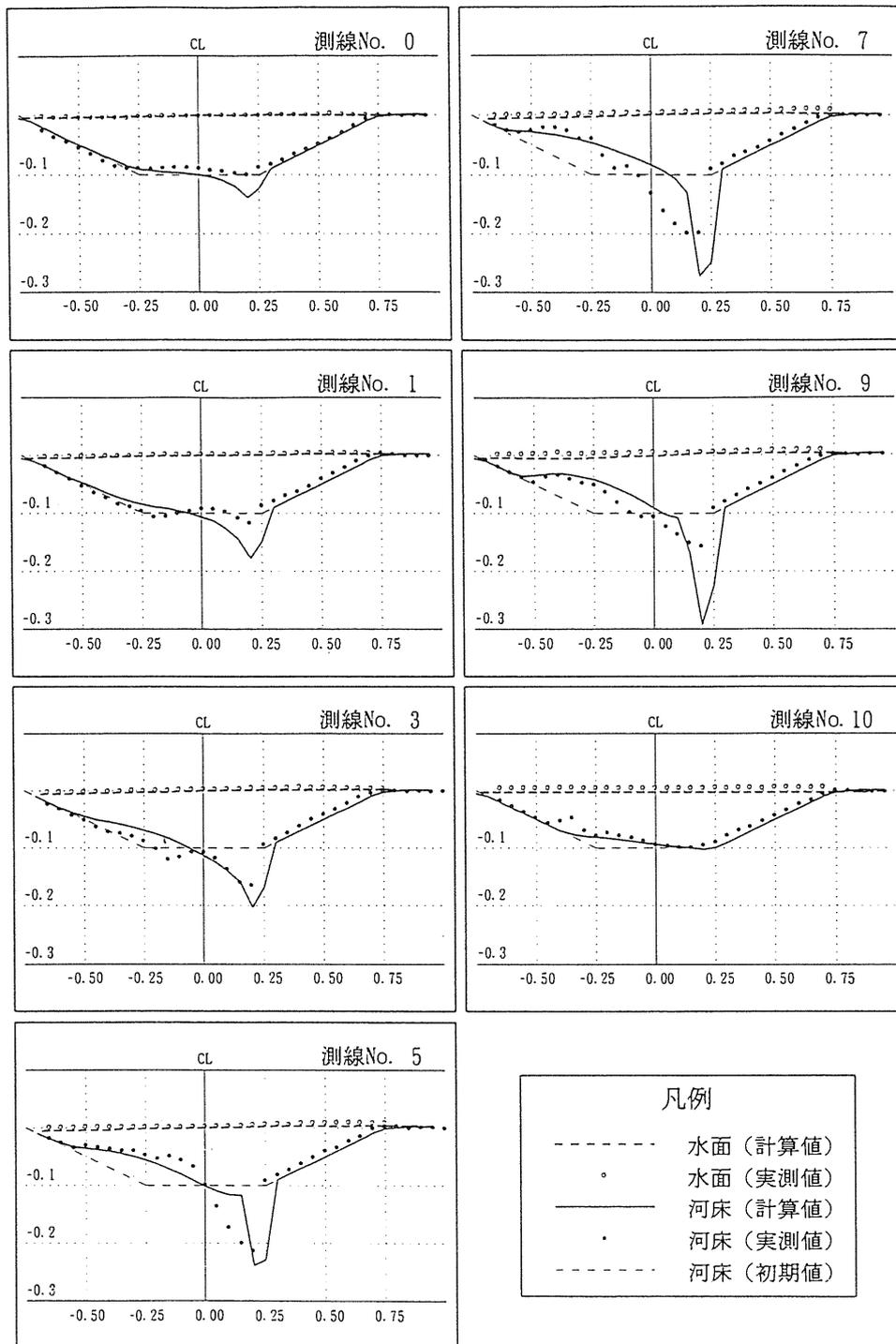


図3・4(2) 横断河床形状および水位に関する比較
 (ケース 55LN, $i_b=1/500$, 法面=1:5, 低水路満杯, 根固め工なし)

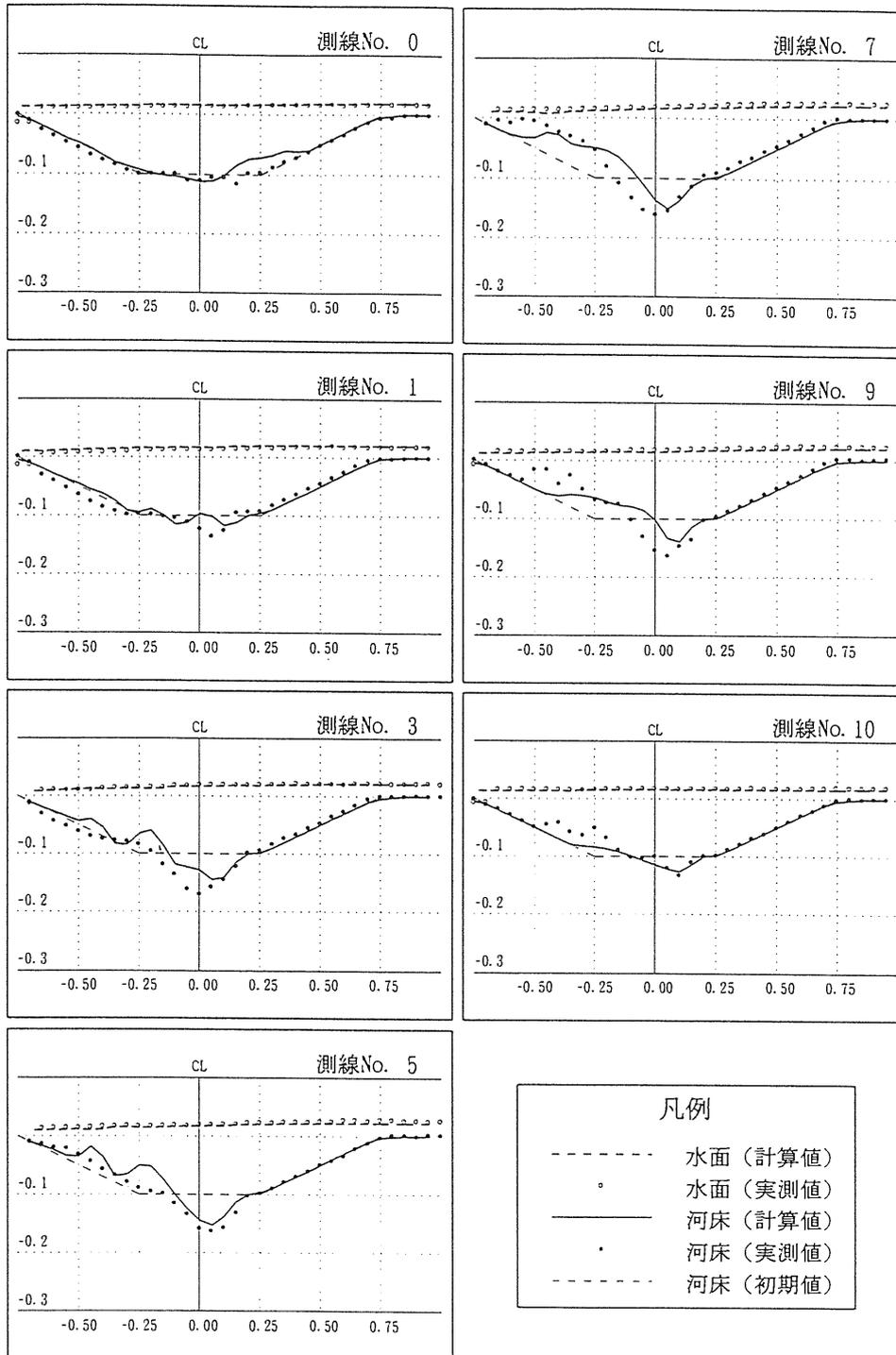


図3・4(3) 横断河床形状および水位に関する比較
 (ケース 55LLF-V, $i_b=1/500$, 法面 = 1 : 5, 高水敷冠水, 根固め工あり)

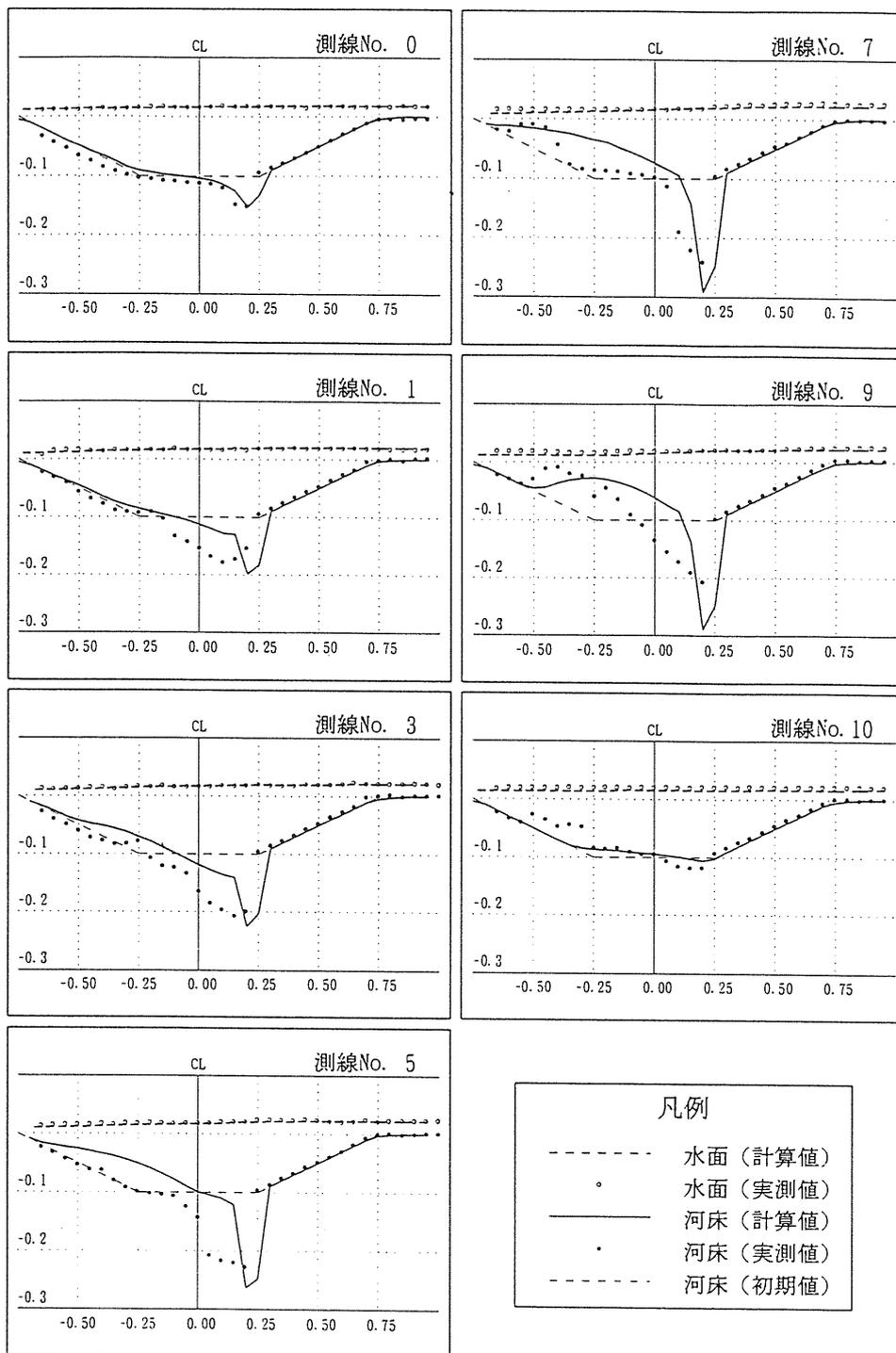


図3・4(4) 横断河床形状および水位に関する比較
 (ケース 55LNF, $i_b=1/500$, 法面=1:5, 高水敷冠水, 根固め工なし)

3.2.4 鉛直平均流速の比較

最後に、根固めを施した場合の4ケースについてそれぞれ平衡河床状態になった時点での流速分布に関する実測結果を用いて、計算結果との比較を行う。図3・5は、各断面における鉛直平均流速の分布を図示したものである。また、図3・6(1), (2)は、湾曲部分の上流の直線部分での断面平均流速を基準にして、鉛直平均流速の大きさの平面分布をコンターで表示したものである。

まず、図3・5についてみると、低水路満杯のケースにしても高水敷冠水のケースにしても、計算結果と実

験結果とが概ね一致しており、流路の平面形状、側壁の法面勾配および高水敷などの境界による流れへの影響がよく評価されていると思われる。

また、鉛直平均流速の平面分布パターンの比較を示す図3・6(1), (2)についてみると、流路中心部の流速に関する計算値が各ケースともに相対的に大きくなっている以外は、肝心となる低水路護岸付近および高水敷上の流れの分布パターンがよく一致していることが分かる。

これらの結果により、二次元浅水流モデルによって流れを実用上十分な精度で再現できることを実証した。

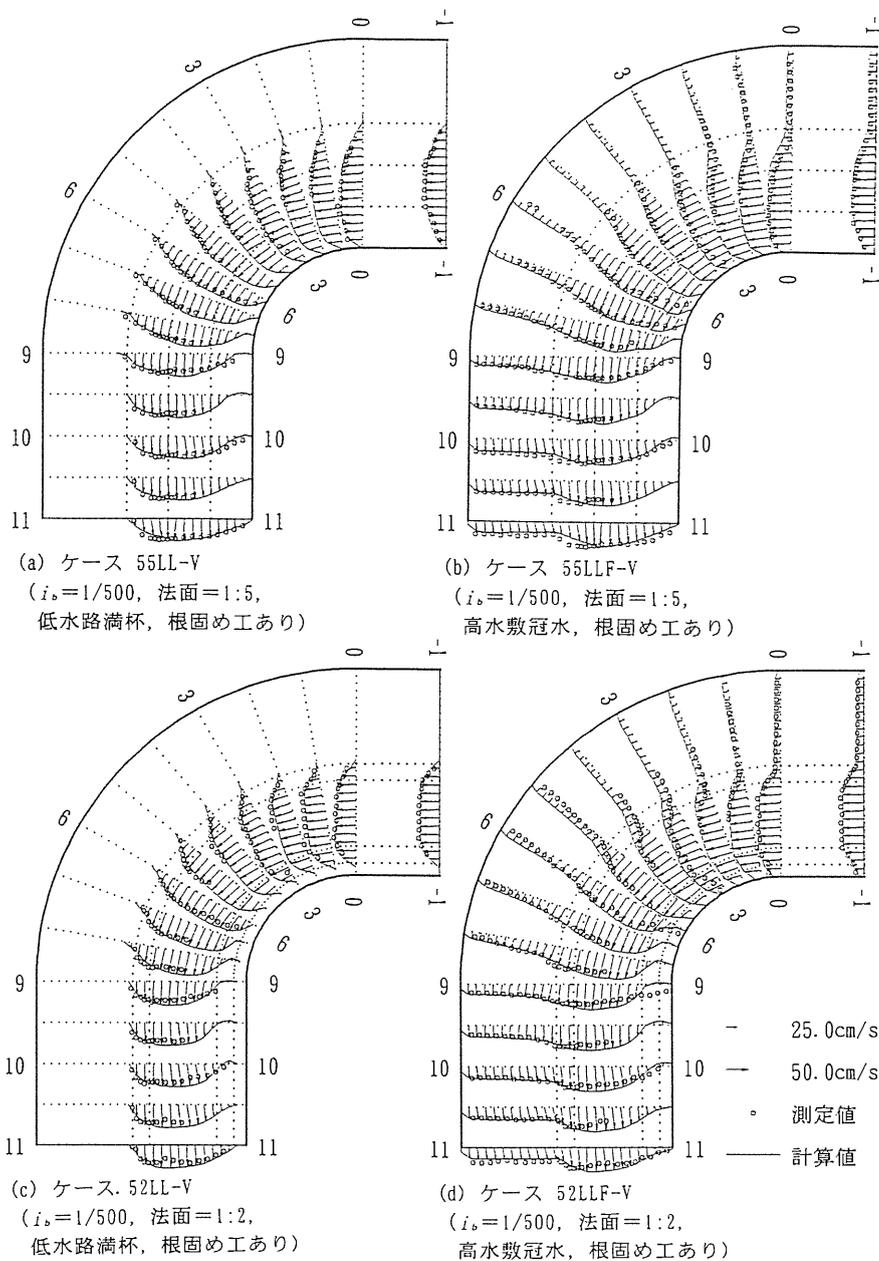
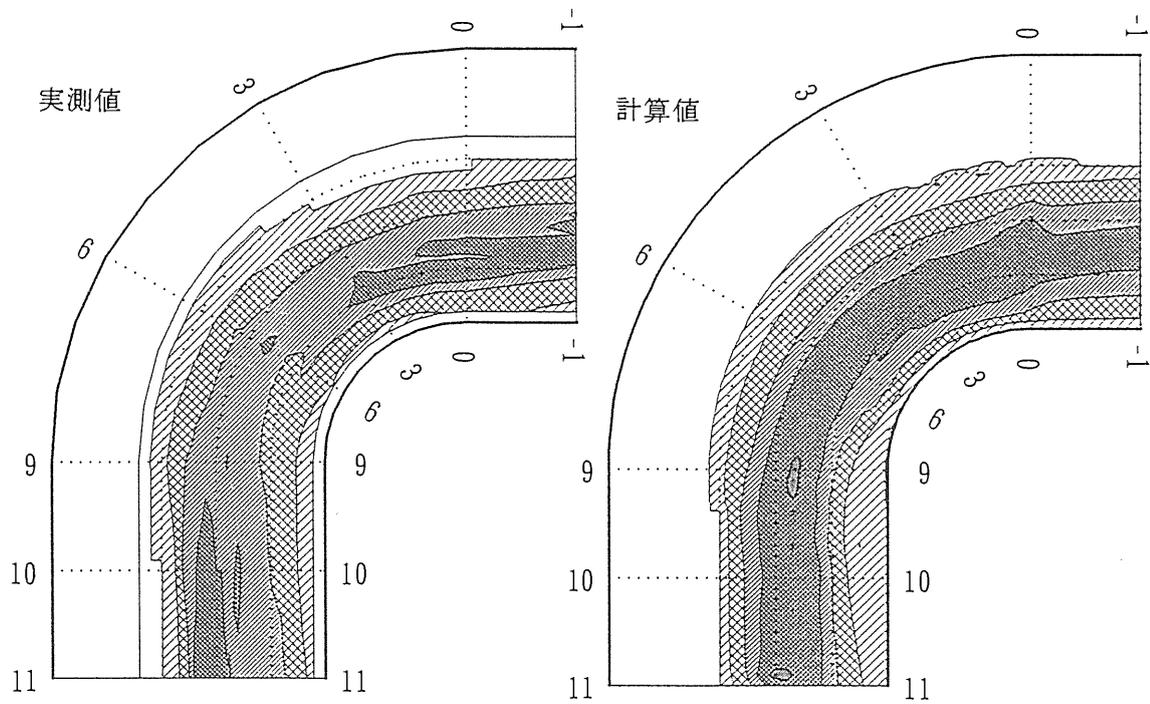
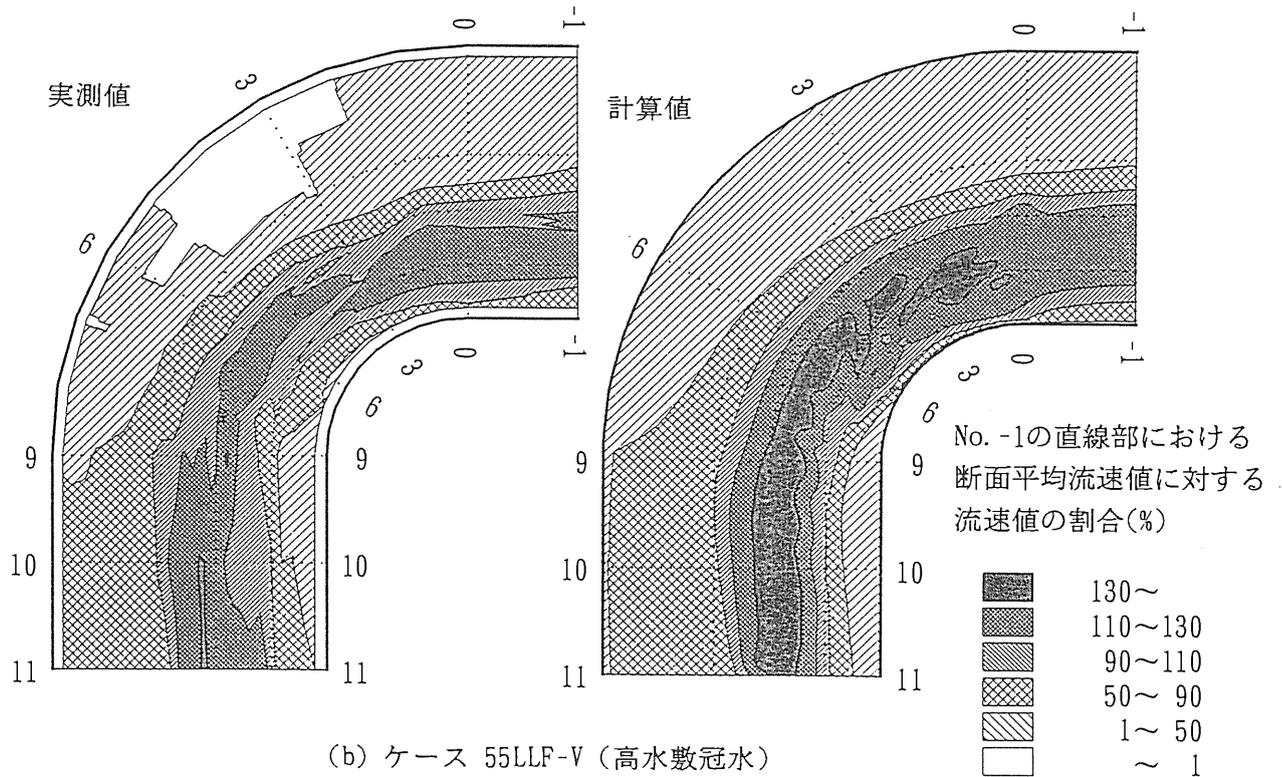


図3・5 鉛直平均流速のベクトル分布に関する比較

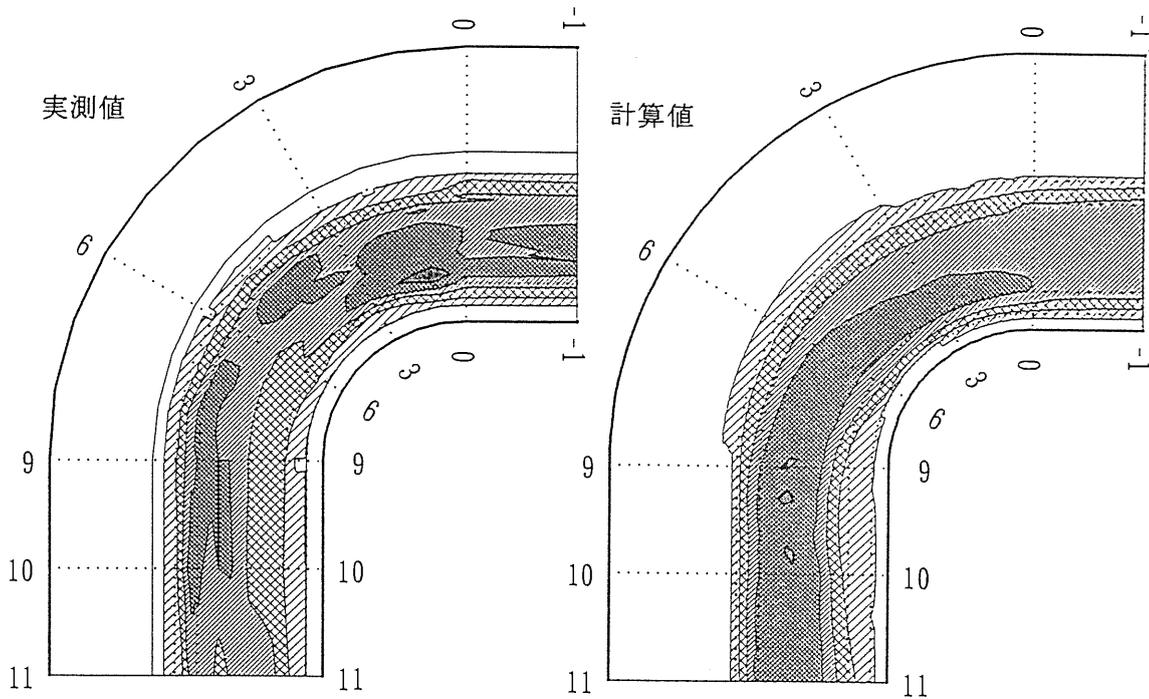


(a) ケース 55LL-V (低水路満杯)

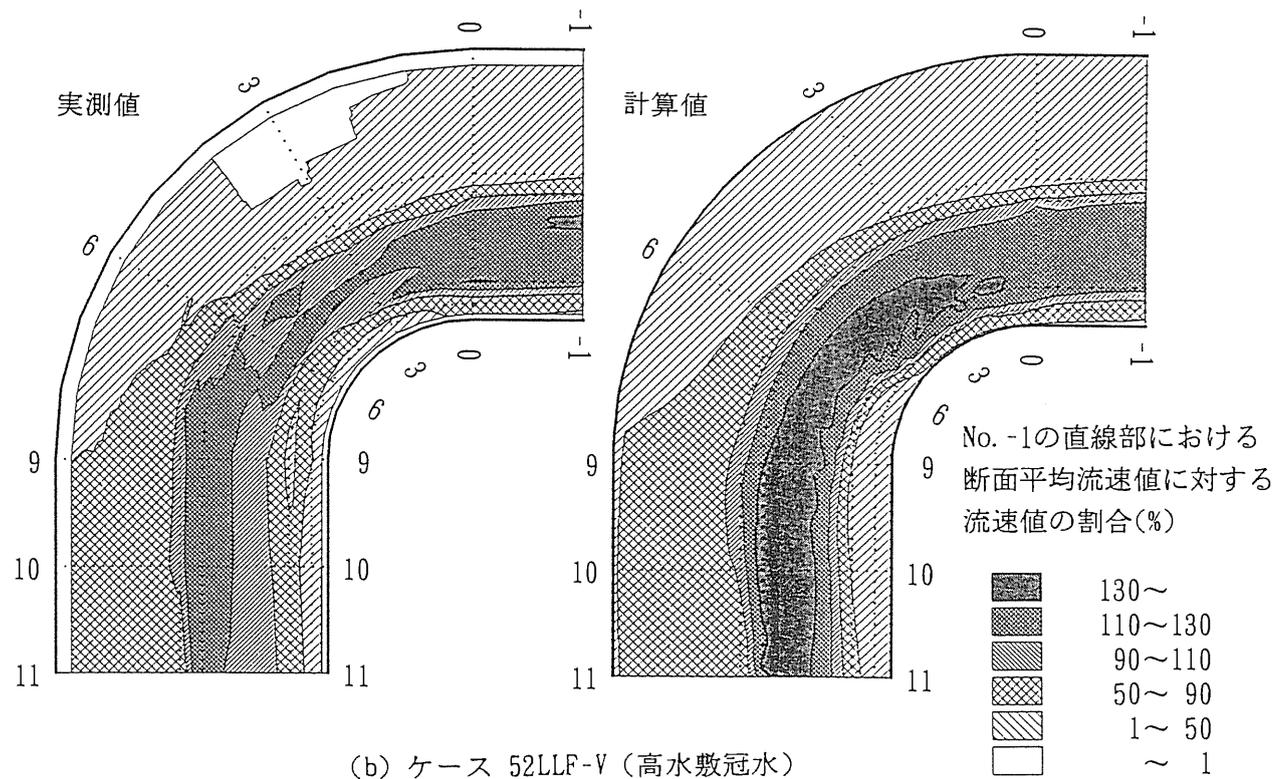


(b) ケース 55LLF-V (高水敷冠水)

図3・6(1) 直線部の断面平均流速に対する鉛直平均流速の平面分布に関する比較
(ケース 55LL-V とケース 55LLF-V, $i_b=1/500$, 法面=1:5, 根固め工あり)



(a) ケース 52LL-V (低水路満杯)



(b) ケース 52LLF-V (高水敷冠水)

図3・6(2) 直線部の断面平均流速に対する鉛直平均流速の平面分布に関する比較
(ケース 52LL-V とケース 52LLF-V, $i_b=1/500$, 法面=1:2, 根固め工あり)

4. 結 語

以上、多自然型護岸工の水利機構およびその適用性に関して詳細な検討を行うために構築された二次元河床変動数値解析モデルの概要およびその検証シミュレーションの結果について述べた。

シミュレーションモデルの実用性および汎用性を図るため、著者らの従来の研究成果に基づいて境界に適合する一般直交曲線座標系を採用した二次元浅水流モデルおよび混合砂を対象に縦・横断勾配の影響を考慮した多層河床変動モデルを構築した。また、その有効性が、多自然型護岸工に関して実施した複断面湾曲部の流れおよび河床変動に関する実験結果よって明らかになった。

今後は、本モデルを用いて様々な河道条件および水利条件に対し、系統的にシミュレーションを行い、多自然型護岸工の設計基準づくりに資する情報を提供していきたい。

参考文献

- 1) 藤田裕一郎・澤井健二・神田佳一 (1995) : 多自然型護岸周辺の流れ特性に関する実験, 水工学論文集、第39巻、pp.557-564.
- 2) 芦田和男・大槻英樹・戸田圭一 (1995) : 多自然型河川工法の実験的検討, 河川環境総合研究所報告第1号, pp.73-102.
- 3) 芦田和男・大槻英樹・大本雄二 (1996) : 多自然型河川工法の実験的研究, 河川環境総合研究所報告第2号
- 4) 清水康行・板倉忠興 (1986) : 河川における2次元流れと河床変動の計算, 北海道開発局土木試験所報告, 第85号, 65p.
- 5) 芦田和男・江頭進治・足立幸郎 (1988) : 蛇行水路における河床変動に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第31号, B-2, pp.443-459.
- 6) 清水康行 (1988) : 蛇行河川における三次元流れと掃流砂, 浮遊砂を考慮した河床変動の計算, 北海道開発局開発土木研究所報告, 第88号, 52p.
- 7) 道上正規・檜谷 治 (1992) : 水制周辺の平面2次元河床変動計算に関する研究, 水工学論文集, 第36巻, pp.61-66.
- 8) 福岡捷二・渡辺明英・西村達也 (1992) : 水制工の配置法の研究, 土木学会論文集, No.443, II-18, pp.27-36.
- 9) 芦田和男・江頭進治・劉 炳義 (1991) : 蛇行流路における流砂の分級および河床変動に関する数値解析, 水工学論文集, 第35巻, pp.383-390.
- 10) 芦田和男・江頭進治・劉 炳義 (1992) : 二層モデルによる複断面河道の流れおよび河床変動の数値解析, 京都大学防災研究所年報, 第35号, B-2, pp.41-62.
- 11) 劉 炳義 (1991) : 複断面河道における流砂と河床変動に関する研究, 京都大学学位論文
- 12) 芦田和男・道上正規 (1971) : 混合砂礫の流砂量と河床変動に関する研究, 京都大学防災研究所報告年報, 14号B, pp.259-273.
- 13) 岩垣雄一 (1956) : 限界掃流力に関する基礎的研究 : (1) 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文報告集, 第41号, pp.1-20.
- 14) Patankar, S.V. (1980) : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation.
- 15) Englund, F (1974) : Flow and bed topography in channel bends, J. Hydr. Div., ASCE, vol. 100, No. HY11, Proc. Paper 10963, Nov.

湾曲部河道における流況変化

吉川 秀夫*・高橋 晃**

1. はじめに

河道の湾曲部では、主流部が外岸側に集中し、そこに水衝部が形成される。この河道湾曲部に生じる諸現象が流量規模の違いによってどのように変化し、またその変化はどの程度であるのかを解明することは、湾曲部に生じている水理現象を一般化するうえで重要である。

ここでは最上川大淀地区の模型実験結果（土木研究所資料第3326号¹⁾、資料①）および阿賀野川中流部河道模型実験結果（土木研究所資料第3307号²⁾、資料②）より、その変化特性や程度の実態を明確にすることを目的とした検討を行った。なお、検討対象とした最上川大淀地区は、峡谷を流下する岩河道であり、洪水時にも河床変動が生じない状態の河川である。これに対し、阿賀野川中流部は蛇行が激しく、かつ河床変動の著しい河道であり、この両者の諸特性について再検討を行い、各現場に直接参考とするため、その結果を要約して以下に示す。なお詳細については上記資料を参照されたい。

2. 検討結果について

まず、本検討により明らかとなった主要な結果について、以下にまとめて述べる。

- (1)主流が湾曲部の外岸側に偏る範囲は、いずれも湾曲の中間地点（あるいは曲率が最大となる位置）より下流側である。特に単湾曲部と見なせる箇所の水衝部範囲は、流量が変化してもほぼ固定している。
- (2)複湾曲状態となっている河道では、上流側湾曲部の外岸の流れが流量の増大とともにそのまま直進する傾向となる。このため下流側の湾曲部では、流れの集中する領域が外岸の下流側へ移行し、かつその範囲が増大する傾向となる。
- (3)主流部が河岸沿いに偏る範囲は、単湾曲部の場合その川幅の3～4倍程度である。これに対し複湾曲部の

場合の下流側湾曲部で主流が河岸沿いに偏る範囲は、その川幅の2～3倍程度であり、単湾曲の場合に比してやや少ない。

(4)曲率半径や湾曲角がほぼ同一の湾曲部でも、その外岸側が高水敷状となっていて、そこが水中に没しているような場合には、低水路河岸沿いに流れが極端に集中しない。

(5)湾曲部の外岸側に集中する流れは、曲率半径や河道地形特性、水量等によって最大流速とその発生位置は異なる。ただし、この湾曲部に生じている最大流速は、いずれも断面平均流速の1.3倍程度以下であった。

(6)湾曲部河道の流れは、上流側の湾曲入り口では内岸側に主流があり、その後外岸側に向かって直進して流れが集中し、そこに強い水衝部が形成される。よって、上流側流入部の流れを偏らないようにすることが水衝部の洗掘軽減に有効である。

(7)湾曲部河道を整理すると、水衝部位置が下流側に移動し、かつ洗掘深が軽減する傾向となる。

ただし、河道整理は新たな水衝部を発生させたり、長期的には川幅が縮小して結局問題解決とはならない場合があるので注意が必要である。

(8)大淀地区の湾曲部河道では、流量比に対するせん断力比（全断面平均値）が直線部よりかなり増大する。特に単湾曲部の場合は、流量比の1.0～1.5倍のせん断力比となる。これに対し阿賀野川河道では、河床勾配が緩く、かつ曲率半径が大きいため、湾曲の影響はほとんど現れず、直線部の平均的なせん断力増加分に止まっている。

3. 河道の概要

最上川大淀地区の河道平面図を図1に、阿賀野川の17.0km～9.0km間河道の平面図を図2に示す。

大淀地区河道の平面形状は、断面No.31付近において曲率半径（ $r \approx 160\text{m}$ ）が小さく、かつ湾曲角が約 140° にも達する湾曲部があり、またその下流側の断

* 吉川 秀夫 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所長

** 高橋 晃 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 主任研究員

面No.26～No.23間では、湾曲角が 180° ($r \approx 360\text{m}$)の大湾曲部が形成されている。この上下流河道も湾曲部が多く形成されており、図1にはこれらの湾曲部の位置と概略の曲率半径 r 、湾曲角 θ を示した。なお、河床勾配 i は、断面No.42～No.31間が $i \approx 1/1,000$ 、大湾曲部が形成されている断面No.31～No.22間が $i \approx 1/2,000$ 、断面No.22～No.13間が $i \approx 1/700$ である。

一方、阿賀野川中流部の17.0km～9.0km間河道は、河床勾配 $i \approx 1/5,800$ で、低水路幅が下流に向かって300m～500mと広がる区間である。この河道区間は、蛇行が著しく、特に中新田地区(18km付近)、横越地区(13km付近)、および灰塚地区(10km付近)で

水衝部が形成され、局所洗掘が生じている。これらの水衝部では、堤脚保護のために杭出し水制、根固めブロック等が設置されているが、出水の度に被害を受け、河道の維持管理に支障をきたしており、抜本的な水衝部対策が必要とされている。なお、横越地区(低水路部の概略の曲率半径 $r \approx 1,120\text{m}$ 、湾曲角 $\theta \approx 100^\circ$) および灰塚地区(低水路部の概略の曲率半径 $r \approx 980\text{m}$ 、湾曲角 $\theta \approx 80^\circ$) の水衝部のうち、灰塚地区における水衝部の局所洗掘はほぼ安定化しつつあるが、横越地区の水衝部の局所洗掘は現在も進行傾向にあるといわれている。

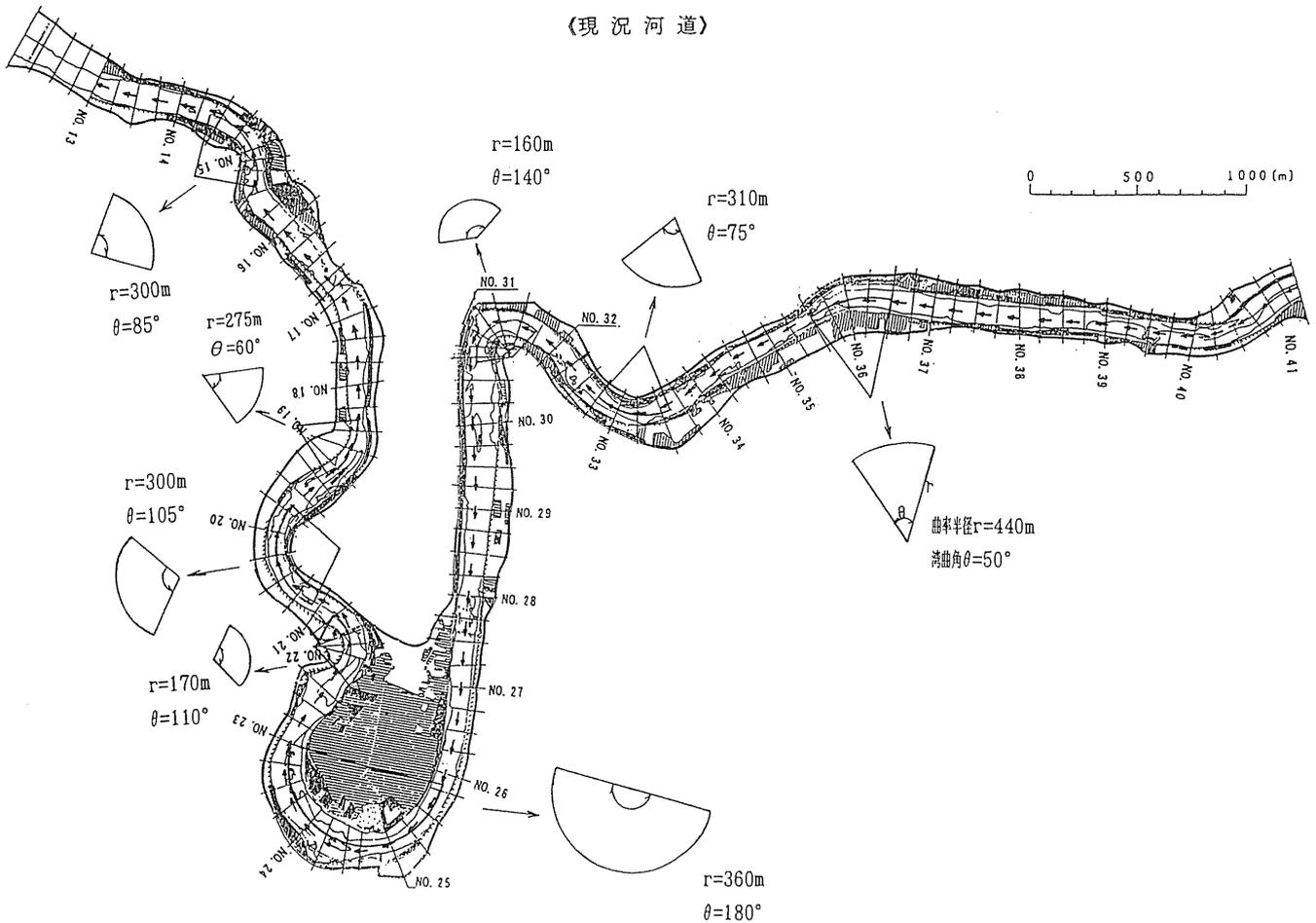


図1 最上川大淀地区河道平面図

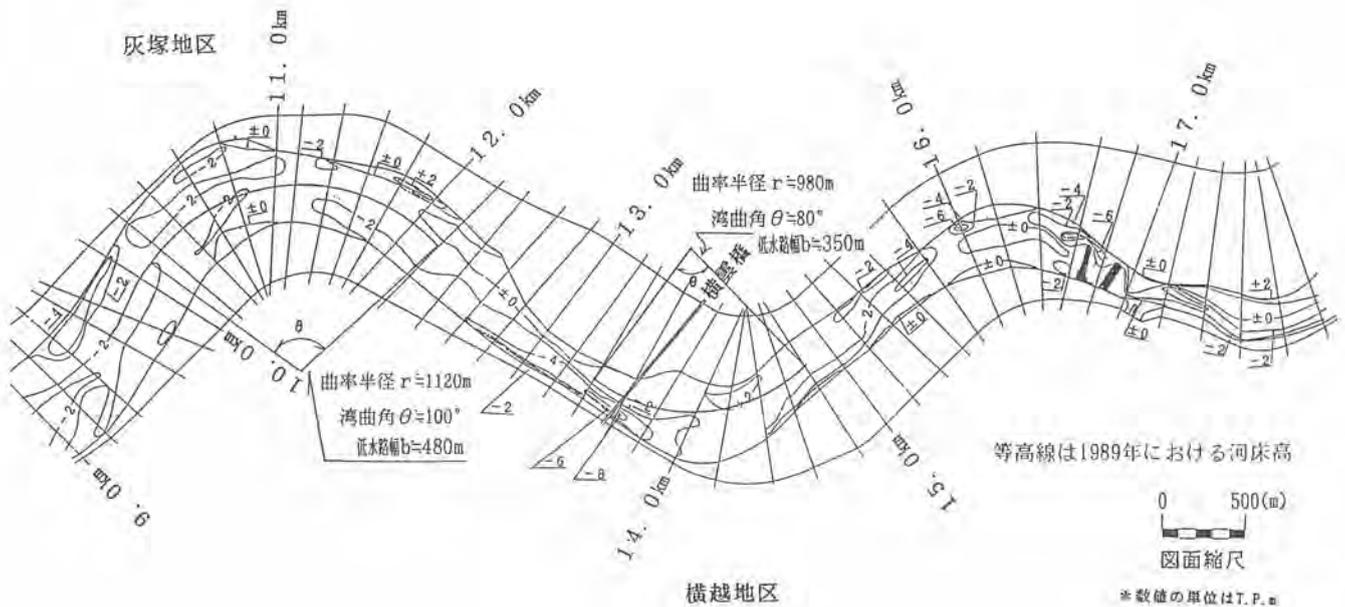


図2 阿賀野川河道平面図

4. 湾曲部河道の水理特性

湾曲部河道の洪水時における左右岸水位差は、各湾曲部の河道地形特性や水理量によって大きく変化する。大淀地区河道の各湾曲部の左右岸水位差は、計画高水流量 $Q=5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 時と当面の暫定的な計画流量と目される $Q=4,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 時ではほぼ同程度であるのに対し、平均年最大流量とほぼ同一規模の $Q=1,977 \text{ m}^3/\text{s}$ (1990年6月洪水) 時では半減した値となっている。このように左右岸水位差は、各湾曲部によって異なり、また水理量によって変化するが、その概略は当該地点における水位縦断と同程度の変化が生じているようである。湾曲部の外岸側に主流が偏る範囲は、いずれも湾曲の中間地点 (あるいは曲率が最大となる位置) より下流側である。特に単湾曲部と見なせる断面No.36付近および断面No.31付近の湾曲部下流外岸側の水衝部範囲は流量が変化してもほぼ固定しているようであり、その範囲は川幅の3~4倍程度である。これに対して断面No.21+200m付近、断面No.15付近の湾曲部は、この直上流河道が湾曲して複湾曲状態となっているため、上流側湾曲部の外岸側へ向かった流れが、流量の増大とともにそのまま直進する傾向となる。これとともに下流側湾曲部では、流れの集中する領域が外岸の下流側へ移行し、かつその範囲が増大する傾向となる。ただし、この流れが集中する範囲は、川幅の2~3倍程度であり単湾曲の場合よりは少ない。なお、曲率半径が小さく、かつ湾曲角が大きい湾曲部では、その内

岸側の下流河岸沿いに流れが剥離する領域が生じる。この剥離する限界は、内岸の曲率と接線をなす角度によってほぼ決まるものと考えられる。剥離域の長さは、 $Q=1,977 \text{ m}^3/\text{s}$ 時に対して $Q=5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ では約2倍に拡大している。さらに、河道内に同様の湾曲部が存在していても、その外岸側が高水敷状になっていてそこが水中に没しているような場合は、ウオータークッション的な役目を持っているためか、河岸沿いに流れが極端には集中しない。このような箇所は、断面No.33付近、断面No.20およびNo.19付近の湾曲部である。

次に湾曲部外岸側の平均的な代表流速 u'_0 は、断面平均流速に対して

$$u'_0 = A \cdot u_0$$

で表されている³⁾。Aは河道形状に応じた補正係数で

$$A = 1 + B/r$$

である。ここにB:川幅, r:曲率半径である。これによれば大淀地区河道の曲率半径が小さい湾曲部の u'_0 は、断面平均流速の約1.7倍にもなる。これに対し、実験結果では約1.3倍程度であり、曲率半径が極端に小さい場合の適用には問題が残るようである。

一方、阿賀野川の湾曲部河道の流れは、各ケースとも横越地区の湾曲上流側の流入部では内岸側に主流があり、その後外岸側に向かって直進して流れが集中し、そこに強い水衝部が形成される。この水衝部が形成される範囲は、いずれも湾曲の中間地点 (あるいは曲率が最大となる位置、横越地区:14.1km、灰塚地区:11.1km) より下流側で、低水路幅の3~4倍程度の長

さである。これは先の大淀地区河道の場合とほぼ同じである。最深部位置は、流量が増大すると上流に移動する傾向が見られ、その移動に伴って水衝部範囲も若干増大する。最大流速は、最深部より下流側位置で発生しているが、流量の違いによる変化特性は不明である。なお、湾曲部内岸側の低水路を掘削して法線形を後退させた場合は、外岸側に向かう流れが下流側に移動する。すなわち、湾曲部の曲率半径が大きくなったかたちとなり、水衝部位置が下流に移動し、かつ洗掘深が軽減する。ただし、このような河道整形は新たな水衝部を発生させたり、長期的には川幅が縮小して結局問題解決とはならない場合があるので注意が必要である。

5. 湾曲部河道の流量比と掃流力比の関係

大淀地区河道で、直線部が比較的長く区間の断面No.27地点を例にとり、実験に用いられた流量 $Q_1=5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ と $Q_2=1,977 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の流量比 ($Q_1/Q_2=2.7$) に対する摩擦速度の自乗の比 u_{*1}^2/u_{*2}^2 を計算してみる。ここに粗度係数 $n=0.025$ 、河床平均勾配 $i=1/2,000$ 、川幅 $B=120\text{m}$ と土木研究所資料より判断されるのでこれを用いることとした。これより流量 $Q_1=5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_2=1,977 \text{ m}^3/\text{s}$ 時の等流水深を求め、さらに直線部河道(断面No.27)の掃流力代表値である摩擦速度の自乗値 (u_*^2) の比を計算すると $u_{*1}^2/u_{*2}^2 \approx 1.8$ となる。すなわち、流量比が2.7倍となるとき u_*^2 の比は1.8~1.9倍となり、流量比に対して約0.7倍の増加となる。

次に大淀地区河道の各湾曲部について曲率半径 (r)、湾曲角 (θ)、流量 $Q_1=5,400 \text{ m}^3/\text{s}$ と $Q_2=1,977 \text{ m}^3/\text{s}$ 時における摩擦速度の自乗値の比 u_{*1}^2/u_{*2}^2 を資料①の図2・9より求めると表1に示す通りである。 u_{*1}^2/u_{*2}^2 は r 、 θ とはほとんど関係なく、各湾曲部の下流側での河道状況によるが4.5~2.2倍になっている。特に直下流の直線部に接続するいわゆる単湾曲の場合には3倍以上になっている。すなわち、単一湾曲部では蛇曲部よりせん断力が大きくなり(大淀地区河道の場合)、せん断力比が流量比より大きくなることに注意しなければならない(流量比に対して約1.5倍を考えておく必要がある)。

阿賀野川の17.0~9.0km区間の実験では、低水路幅が全川幅の1/3~1/4を占め、河川堤防間で連続して蛇行している。さらに最上川の例よりは河床勾配が緩く、曲率半径が3倍程度長いこと流量変化に伴うせん断力比は表2に示すように、相当小さくなっていることが分かる。すなわち、洪水位が低水路内に収まる

(高水敷にほとんど乗らない)範囲で流量を2倍としたときせん断力比は1.2倍程度であることが知られ、流量比の0.6倍位になっており、最上川の場合のように湾曲の影響はほとんど現れなく、直線部の平均的なせん断力増加分に止まっていることが知られる。さらに流量が増加した場合には、湾曲部のせん断力は増加せず、低水路満杯流量時よりほとんど増加しないことが資料②の図2・27より知られる。この点については、さらに正確に u_*^2 の増加分について平面二次元計算等により明らかにする必要があると考えられ、今後典型的なパターンについて計算を進める予定である。

表1 各湾曲部の曲率半径 (r)、湾曲角 (θ) と u_{*1}^2/u_{*2}^2 , Q_1/Q_2 の関係 (最上川)

断面位置 No	曲率半径 r	湾曲角 θ	u_{*1}^2/u_{*2}^2	河床勾配 i	Q_1/Q_2
38	∞	—	1.9	↑	2.7
36	440m	50°	4.5	1/1,000	//
33	310m	75°	3.1		//
31	160m	140°	3.2	↓	//
27	∞	—	1.8	↑	//
25	360m	180°	2.7	1/2,000	//
22	170m	110°	2.2		//
20	300m	105°	2.2	↓	//
19	275m	60°	3.6	1/700	//
15	300m	85°	2.3	↓	//

表2 湾曲部の曲率半径 (r)、湾曲角 (θ) と u_{*1}^2/u_{*2}^2 , Q_1/Q_2 の関係 (阿賀野川)

断面位置 No(km)	曲率半径 r	湾曲角 θ	u_{*1}^2/u_{*2}^2	河床勾配 i	Q_1/Q_2
14	980m	80°	1.3 1.2	1/5,800	2.0 //
11	1,120m	100°	1.2 1.2	1/5,800	2.0 //

参考文献

- 1) 宇多高明・高橋晃・伊藤克雄 (1995) : 最上川大淀地区の河道計画に関する検討 (I), 土木研究所資料第3326号
- 2) 山本晃一・宇多高明・藤田光一・坂野章・佐々木克也・服部敦・平館治 (1994) : 阿賀野川中流部河道 模型実験報告書 (I), 土木研究所資料第3307号
- 3) 福岡捷二・藤田光一・森田克史 (1988) : 護岸法覆工の水利設計法に関する研究, 土木研究所資料, 第2635号

Ⅲ. その他河川環境の保全と 創造に関する研究

河川水辺の国勢調査（植物調査編）の活用 — 多摩川を例として —

佐々木 寧*

河川水辺の国勢調査は、河川事業や河川管理の適切な推進に資する目的で、平成2年にスタートし、河川に生息している生物に関する基礎的調査や河川空間利用実態調査などを行っている。

調査の対象は全国の1級および2級水系の内、建設省が直接管轄する区間である。生物に関する調査対象項目は、植物をはじめ、鳥類、両生類、爬虫類、哺乳類、陸上昆虫類、魚介類、底生動物と多岐にわたっている。調査は主に生育する種類のリストアップと生育分布調査である。

河川を環境という観点からとらえる為、調査は定期的、継続的に行われるべきであるとし、平成7年から調査は2巡目に入っており、貴重な調査資料が蓄積されつつある。

これまでの調査で得られた資料は、管轄する工事事務所に全資料が保管されている他、河川水辺の国勢調査年鑑として要約され、一般市民にも利用できるように出版・公開もなされている。平成5年度の段階で全国109水系での調査資料が蓄積されている。

河川水辺の国勢調査の目的が、「河川事業、河川管理を適切に推進するため」にあることからして、調査が2巡目に入るこの時期、これまで得られた調査資料が河川事業や河川管理に際して、具体的に利用できるための資料の解析方法と利用方法を検討しておくべきであろう。

すなわち、調査資料が現場サイドにも利用できるような「調査資料」から「計画・設計・管理」へと結ぶ手順を明示しておく必要がある。

調査資料は、監督行政側だけばかりではなく、現場技術者や周辺住民の教育、啓蒙の基礎的資料としてもきわめて有用なものである。また、調査資料の印刷出版は、資料の散逸を防ぎ、情報公開の面でも意味のあるものである。

その一方で、平成7年に出版された「平成4年度河川水辺の国勢調査年鑑植物調査編」を例にしても、価

格もさることながら、総ページ1433の膨大なものである。しかも、その内容は限りなく生データに近く、定められた様式にのっとった図表が羅列されている。現場技術者や市民が利用しうる形という点では不十分なものである。

「水辺の国勢調査」で得られた資料を今後有効に活用するためには、もう一段、利用しやすい形に整理・解析しておく必要がある。

この報告では、継続的に蓄積されてくる調査資料が河川事業、河川管理に有効に活用されるために、「植物調査編」について得られた調査資料の解析の一例を示したものである。

報告にあたり、調査資料の解析の案と実施を促していただいた財団法人 河川環境管理財団の方々、および解析の実務に協力していただいた新日本気象株式会社の方々に御礼申し上げます。

資料と方法

1) 使用調査資料

水辺の国勢調査では、植物調査部門として植物相（フロラ）調査、植生分布調査、特定種・代表種調査の三項目に大別される。ここでは、このうち植生分布調査の資料を用いて解析を行った。

資料の解析には、精度の高い調査資料の有無が重要である。「河川水辺の国勢調査年鑑」に印刷されている資料の内、植生分布調査に関するものは、5kmピッチ植生別面積、さらに木本植生、草本植生、植林、その他として合算された植被度表のみが記載されている。こうした合算された資料は、その時点で目的別に合算されたものであり、別の視点での解析には利用不可能である。したがって、ここでは各工事事務所に保管する1kmピッチでの各植生別の面積資料を入手して使用している。

* 佐々木 寧 埼玉大学教授 工学部建設工学科

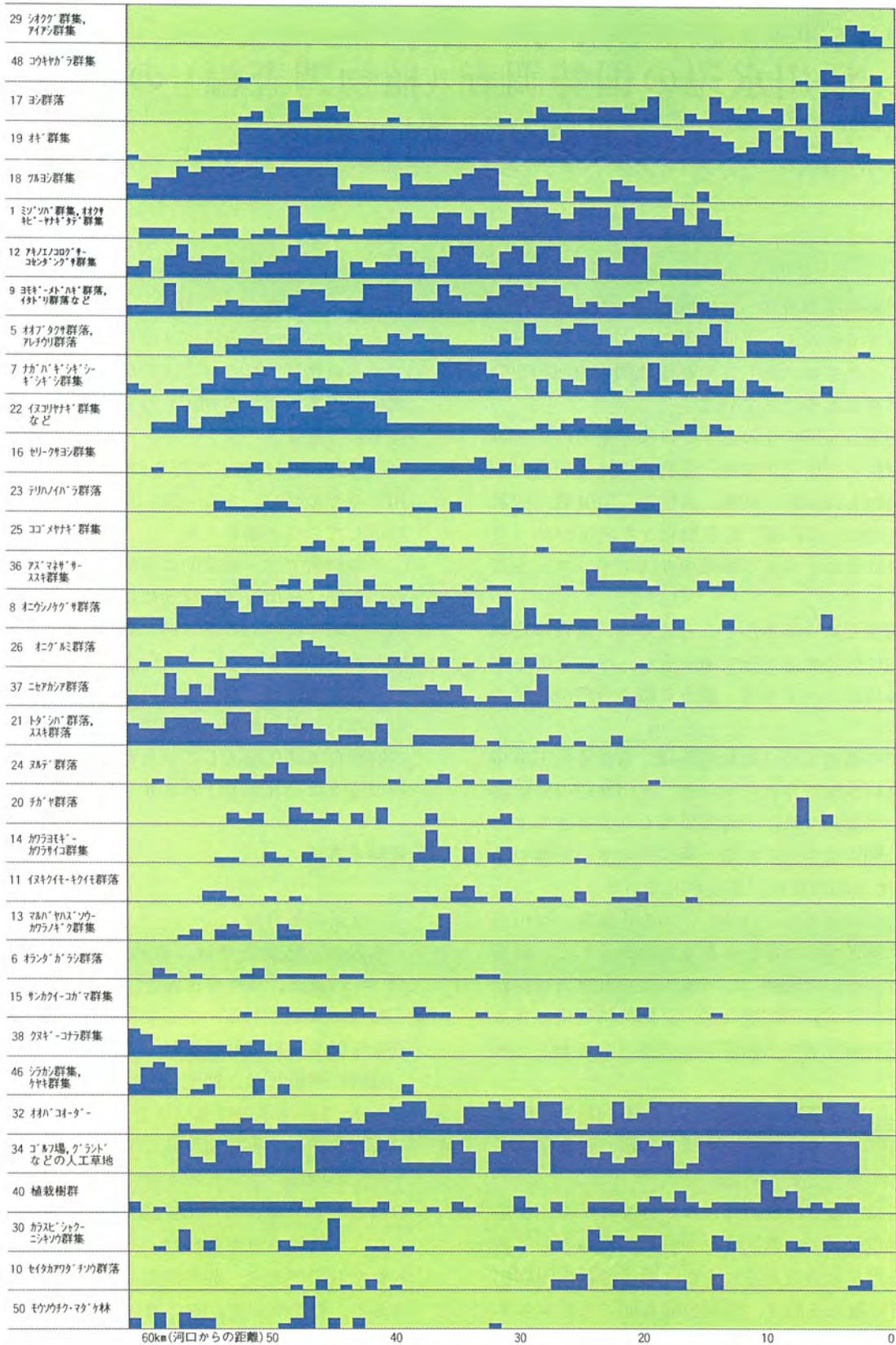


図1 主要植生の分布状況

1 ブロック : $< 5 \times 10^3 \text{ m}^2$, 2 ブロック : $5 \sim 10 \times 10^3 \text{ m}^2$, 3 ブロック : $10 \sim 15 \times 10^3 \text{ m}^2$,
 4 ブロック : $15 \sim 20 \times 10^3 \text{ m}^2$, 5 ブロック : $> 20 \times 10^3 \text{ m}^2$ の占有面積を示す。

2) 対象河川

今回解析の対象としたのは、関東地区の一級河川「多摩川」である。多摩川においては早くから植生調査の資料が蓄積されており、しかも、その精度もきわめて高いと評価されている為である。

また、多摩川は1977年(1976年の現況)、1979年(1978年の現況)、1995年(1994年の現況)の3回にわたって詳細な植生分布調査を行っているが、今回は、植生の年時変化の解析という例を示す目的で1977年と1995年の約18年間の変化に注目し、1977年、1995年の二つの資料について主に比較検討を行った。

利用資料

解析に使用した資料は、以下の二つの調査資料である。

1. 多摩川河川敷現存植生図 1977 (1:50,000)
財団法人とうきゅう環境浄化財団
調査者: 奥田重俊・藤間熙子・井上香世子・箕輪隆一
2. 多摩川河川敷現存植生図 1995 (1:5,000)
建設省関東地方建設局京浜工事事務所
財団法人 河川環境管理財団
調査者: 奥田重俊・小松聡子・畠瀬頼子

3) 図表表記

多摩川の調査対象区間は河口から60kmまでの範囲である。多摩川の地勢上の位置関係から、図表表記は上流域を左側、下流河口部を右側とした。すなわち、上下方向が南北となるよう方位に合わせた形で全て表記した。

I. 現況の把握

河川の現況を理解する上で先ず必要な事は、現在の現況を的確に把握する事である。ここでは、いくつかの環境指標群落に注目し、河川敷の現況を把握する方法を示す。

1) 主要植生の分布状況

多摩川の植生分布調査で使用されている凡例数は50である。その内、環境の指標性のある、主要植生34について、河口から上流約60km区間までの分布状況を解析した。区間別と占有面積量の二次元で表記した結果が図1である。群落の配列は、分布傾向の類似したものにまとめて図示してある。

この結果から、河口から、下流、中流、上流の各域に特徴的に出現する植生、および下流から中流に分布

するもの、中流から上流にかけて分布する植生など分布類型を安易に把握することができる。

2) 植生の多様性

自然豊かな川づくりの目指す、目標景観のひとつは、多種多様な植生が混在していることであろう。多様な植生の存在は、同時に多様な動物群集の生息を可能にするからである。

植生の多様性を表現する方法はまだ十分に検討されてはいないが、ここでは、単純に、一定区間中に存在する植生タイプの数(出現群落数)によって表現を試みた。一定区間とは、最小区間の1km区間毎の解析では、不必要にバラつく恐れがある為、ここでは上・中・下流域に地域区分された6地域別(目標景観の項参照)の比較とした。

解析の結果(図2)、多摩川では中流域の下部から下流域の下部にかけてもっとも多様性が高い結果が得られた。平均出現群落数は20ないし30前後に達している。また総じて中・下流域部に多様性が高く、上流域では比較的単純な群落構成となっている。

この場合、解析に使用したのは、帰化植物や土地利用形態など全ての植生タイプを対象としている為、この結果が単純に「自然の多様性」に置き換えることはできない。

自然の多様性を検討する為には、存在する植生タイプの内、河川らしい自然植生のみを抽出したり、他の動物群集の多様性を合わせた、より総合的な検討が必要となろう。

3) 都市化の度合い

人口密集地を流れる河川は、現在では数少ない貴重な自然を保有する場であり、同時に周辺住民の憩いの場となっている。

一方、広い河川敷を利用してゴルフや野球・テニス他の運動場など人工的施設を計画的に設置している例も多い。また、水田や畑作地としても古くから利用されてきている。

したがって、ここでは、河川敷が現在のどの程度人為的に改変されているのかについて植生の占有面積比率によって解析を行った。

河川敷を占める全植生面積に対する人為的改変によってもたらされた植生の面積の比を求め、これを「都市化の度合い」として表現した。

平均出現群落数

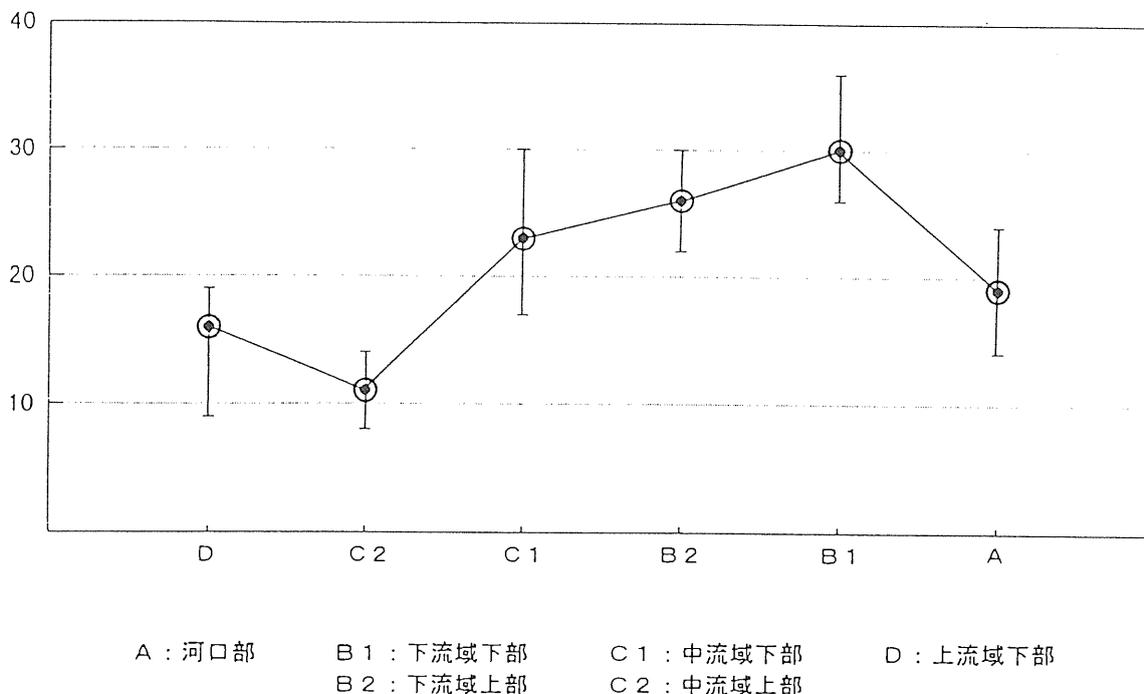


図2 多摩川における群落の多様性分布(平均出現群落数と最大・最小値)
(河口部から上・中・下流の地域区分別の比較)

$$\text{都市化の度合い } p = \frac{a}{a+b} \times 100$$

a : 都市化を指標する群落の占有面積
b : 自然さを指標する群落の占有面積

人為的改変によってもたらされた植生には、帰化植物をも含めている。都市化を指標する群落、および「自然さ」を指標する群落として類別したのは以下の(表1)に示した。解析の結果を図3に示した。

図3の①と②は、「自然さ」を指標する植物群落と「都市化」を指標する植物群落の占有面積をそのまま表示したものである。この結果から見ると、分布面積量としてはいずれも40kmより上流域で大きな分布量を示している。これは河川敷の総面積そのものが広大なためである。

一方、「都市化の度合い」の評価の結果(図3の③)、河口から5kmから20kmにかけての下流域では70%を越える高い都市化が進んでおり、20kmより上流では約30%の、より低い比率で都市化が進行している事

を示している。すなわち、「都市化の度合い」で評価すると、下流域での都市化の進行が明白に表現されている。

4) 目標景観

河川は上流・中流・下流という一般的区分で、河川工学ではセグメント等の区分によって地域としての特徴が把握される。

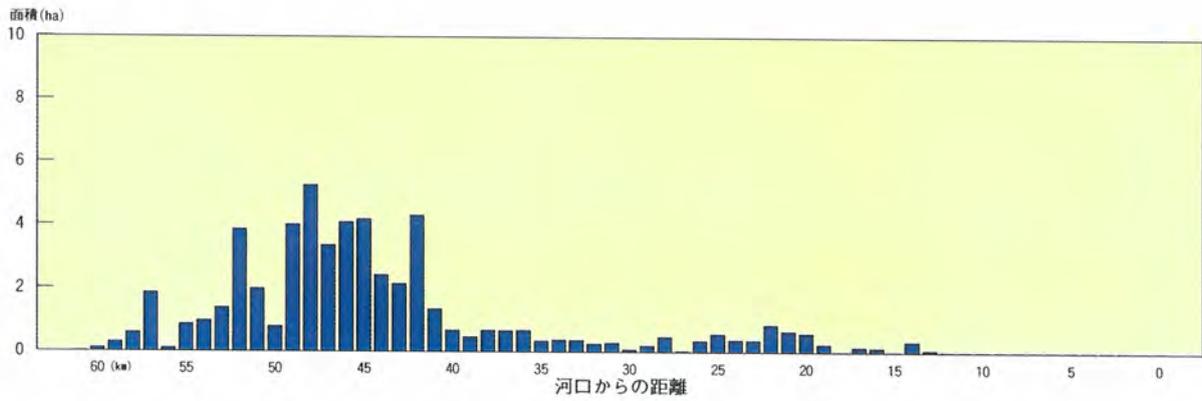
上・中・下流の区分はもっとも理解しやすい一般的な区分の一つである。しかし、セグメントは河床勾配を区分の目安にしているものの、上・中・下流などを定義する明確な定義はなく、比較・相対論的に使用される場合が多い。

ここでは、河川敷に発達する植生タイプの組み合わせという植生情報によって河川の地域区分を試みた。この区分の方法は現況の植生分布状況から、各河川区間での「本来の河川環境・植生景観」を推察する手法として利用できる。

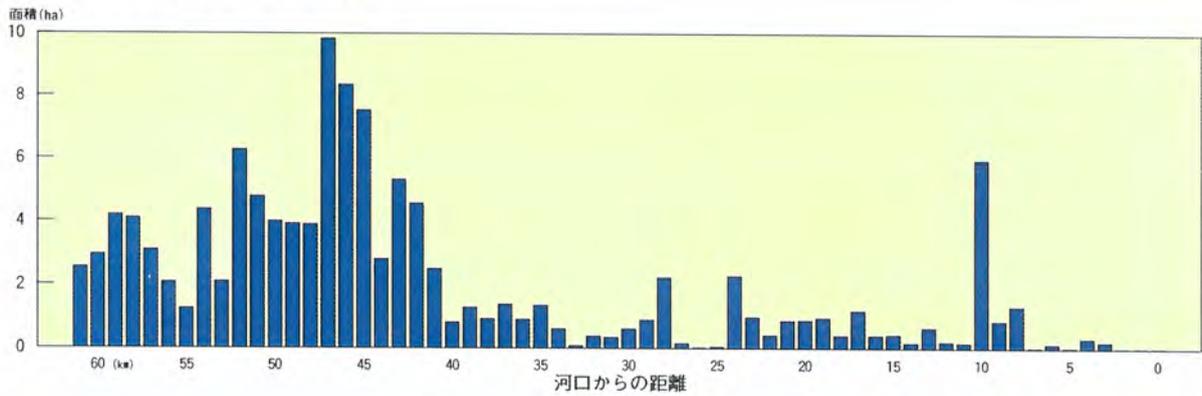
表1 「都市化」を指標する群落及び「自然さ」を指標する群落

凡例番号：「都市化」を指標する群落(a)	凡例番号：「自然さ」を指標する群落(b)
5:オオブタクサ群落, アレチウリ群落	1:ミゾソバ群落, オオクサキビーヤナギタデ群落
6:オランダガラシ群落	2:オオイヌタデーオオケタデ群落
7:ナガバギシギシーギンギン群落	3:タマガヤツリーヌマガヤツリ群落
8:オニウシノケグサ群落	4:コアカザーオオオナモミ群落
10:セイトカアワダチソウ群落	9:ヨモギーメドハギ群落, イタドリ群落など
11:イヌクイモークイモ群落	12:アキノエノコログサーコセンダングサ群落
30:カラスビシャクニシキソウ群落	13:マルバヤハズソウカワラノギク群落
31:ヒメムカシヨモギーオオアレチノギク群落	14:カワラヨモギーカワラサイコ群落
32:オオバコオーダー	15:サンカクイーコガマ群落
33:イヌムギーヨモギ群落	16:セリークサヨシ群落
34:人工草地	17:ヨシ群落
35:スズメノヤリーチガヤ群落	18:ツルヨシ群落
36:アズマネザサーススキ群落	19:オギ群落
37:ニセアカシヤ林	20:チガヤ群落
38:クヌギーコナラ群落	21:トダシバ群落, ススキ群落
39:アカマツークロマツ群落	22:イヌコリヤナギ群落など
40:植栽樹群	23:テリハノイバラ群落
41:造成裸地	24:ヌルデ群落
42:コンクリート裸地	25:コゴメヤナギ群落
45:クコ群落	26:オニグルミ群落
46:シラカシ群落, ケヤキ亜群落	27:ハマヒルガオーコウボウシバ群落, ギョウギシバ群落
49:クズーカナムグラ群落	28:ウラギク群落, ウシオツメクサ群落
50:モウソウチク・マダケ林	29:シオクグ群落, アイアシ群落
	43:自然裸地
	47:エノキ群落
	48:コウキヤガラ群落

①「自然さ」を指標する植物群落の分布量



②「都市化」を指標する植物群落の分布量



③都市化の度合い

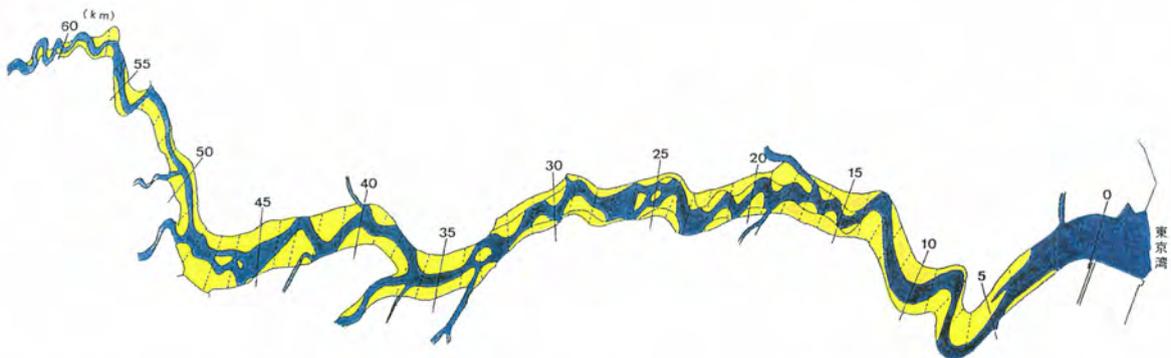
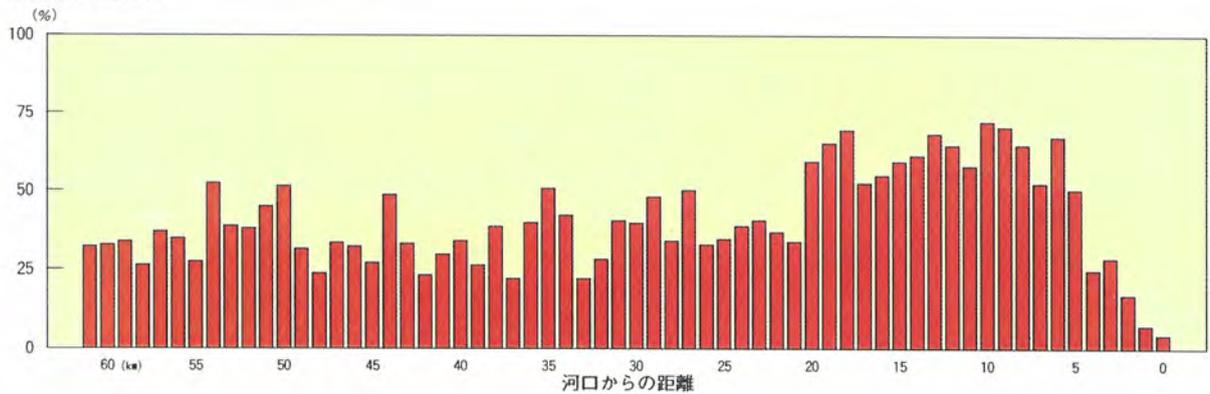


図3 「自然さ」を指標する群落と「都市化」を指標する群落の現況と「都市化の度合い」の評価

解析の手順

1 km区間毎に存在する植物群落の構成によって植生分布のパターン化、類型化を行う。

多摩川に於いて植生の分布類型化に使用された凡例数は開放水域を除く49の凡例である。

i) クラスタ解析による分析

1 km区間毎の植物群落の構成をクラスタ解析法によって類型化を行った。その結果は、類似度0.8によって、ほぼ7ないし8のグループに類型化される。

クラスタ解析による、統計上の処理の結果は、地域的なバラツキが発生することと、一定の類似度指数で区切る事に困難さを伴っている。類似度0.7で区切った場合、8区分となり、類似度0.6で区切ると4区分となるが、いずれも地域的なまとまりのある区分とはなっていない。

ii) 植物社会学的表操作による解析

同じ1 km区間毎の植物群落の構成を、植物社会学的表操作手法によって解析した結果が表4、表5であり、より明瞭にまとめることができた。すなわち、河口から62kmまでの河川敷は、植生の構成から、地域的なまとまりをもつ以下の6類型に区分された。この区分の

結果は同時に、上・中・下流の地域区分としても理解することができる(表2)。

表2 植物社会学手法による植生景観地域区分

A	: 河口部 (0~5km)
B1	: 下流域下部 (5~13km)
B2	: 下流域上部 (13~31km)
C1	: 中流域下部 (31~43km)
C2	: 中流域上部 (43~53km)
D	: 上流域下部 (53~62km)

区分された6類型区間(植生景観地域)については、それぞれ特徴的な指標群落があることが明らかとなった。指標する植物群落は、表5に示した。

得られた各植生景観地域は、それぞれ一定の群落構成と秩序ある群落の配列をなしている。こうして得られる植生景観のモデルは、多自然型川づくりなど、自然の姿に配慮した川づくりの際に、計画の目標景観として利用することができる。

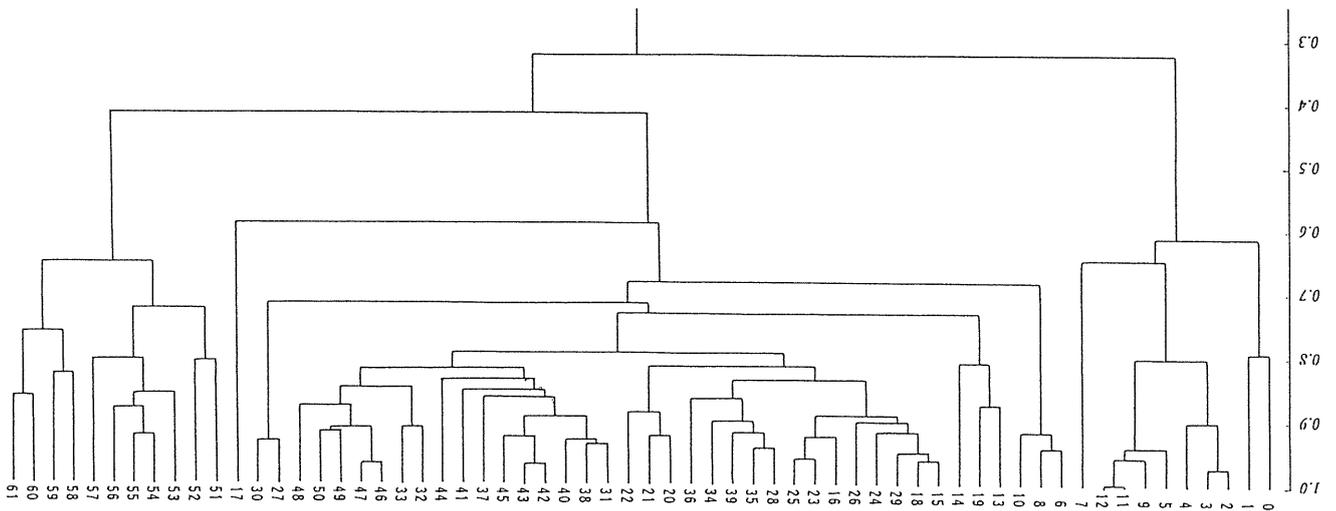


図4 クラスタ解析による類型化
(縦軸は類似度、横軸番号は河口からの距離を示す。)

表4 各植生景観を構成する群落と指標群落

凡例 番号	群落名	平均出現群落数	区分 区間数					
			D 7	C 2 9	C 1 15	B 2 18	B 1 7	A 6
			19	30	26	23	11	16
29	シオクゲ群落, アイソ群落		.	.	.	.	.	V
48	コウキカウ群落		.	I	.	.	I	III
28	ウラギク群落, ウソツメクサ群落		.	.	.	+	.	I
27	ハマビルガ-オ-コウボウシハ群落, キョウキシハ群落		.	.	.	.	.	I
17	ヨシ群落		.	IV	+	V	IV	V
19	オギ群落		III	V	V	V	V	V
18	ツルヨシ群落		V	V	V	IV	.	.
1	ミヅシハ群落, オオクサヒ-ヤナギタテ群落		IV	V	V	V	.	.
12	アキエノコロク-サ-コセンタ-ンクサ群落		V	V	V	V	.	.
9	ヨモギ-メト-ハギ群落, イトリ群落など		V	V	V	V	.	.
5	オオバクサ群落, アレチウ群落		II	V	V	V	III	I
7	ナガバギシキ-シキシキ群落		IV	V	V	IV	III	I
22	イソコリヤナギ群落など		IV	V	V	V	.	.
16	セリ-クサヨシ群落		I	V	V	III	.	.
23	テリハノハウ群落		.	III	III	II	.	.
25	ココメヤナギ群落		.	II	II	II	.	.
36	アスマネサ-サ-スキ群落		.	III	II	III	.	.
8	オニウシケクサ群落		V	V	V	IV	.	I
26	オニグミ群落		IV	V	III	II	.	.
37	ニセアカシア群落		V	V	V	III	.	.
21	トクシハ群落, ススキ群落		V	V	IV	II	.	.
24	ヌルデ群落		II	IV	III	I	.	.
20	チガヤ群落		.	IV	II	.	I	I
14	カラヨモギ-カラサヨクサ群落		.	III	IV	+	.	.
11	イスキクイ-クイイ群落		I	I	IV	II	.	.
13	マルバヤハス-ソウ-カラノギクサ群落		II	II	II	.	.	.
6	オランダガラン群落		III	V	I	.	.	.
15	サンカクイ-コガマ群落		.	V	II	II	.	.
38	クシク-コナラ群落		V	III	I	I	.	.
46	シラカサ群落, ケヤキ群落		V	II	.	.	.	.
44	開放水面		V	V	V	V	V	V
42	コンクリート裸地, 住宅地		V	V	V	V	V	V
43	自然裸地		V	V	V	V	III	V
41	造成裸地		II	V	V	V	V	V
32	オハコオ-ター-		III	V	V	V	V	IV
34	ゴルフ場, グラウンドなどの人工草地		III	V	V	V	V	III
40	植栽樹群		IV	V	III	IV	V	III
33	イヌミキ-ヨモギ群落		I	I	IV	V	V	V
35	スズメノヤリ-チガヤ群落		.	II	V	III	I	I
30	カラスビシキク-ニシキクサ群落		III	III	.	III	II	III
10	セイトカアワタチクサ群落		.	II	.	III	.	II
50	モウソウチク-マダケ林		IV	III	+	.	.	.
2	オオイヌタテ-オオケタテ群落		.	II	+	I	.	I
3	タマガヤツリ-ヌマガヤツリ群落		I	II	I	.	.	.
4	コカガ-オオナモミ群落		I	II	I	II	I	II
39	アカマツ-クロマツ群落		.	.	.	II	.	.
45	クコ群落		I	I	I	.	.	.
49	クス-ナムクサ群落		.	I	I	.	I	.
31	ヒメムカシヨモギ-オオアレチノギクサ群落		.	.	.	+	.	I
47	エノキ群落		.	I	.	+	.	.

常在度 + : 10% > III : 41~60
 I : 11~20 IV : 61~80
 II : 21~40 V : 81~100

表5 6類型区間(植生景観地域)の指標群落

植生景観地域	指標群落
A 河口部	シオクグ群集, アイアシ群集
B1 下流域下部	ヨシ群落, オギ群落
B2 下流域上部	アキエノコログサーコセンダングサ群集
C1 中流域下部	ツルヨシ群集, ヨシ群落, オギ群落 カワラヨモギーカワラサイコ群集, イヌクイモークイモ群落 マルバヤハズソウーカワラノギク群集
C2 中流域上部	サンカクイーコガマ群落, オランダガラシ群落
D 上流域下部	クヌギーコナラ群集, シラカシ群集ケヤキ亜群集

II. 変化動向の把握 (河川敷植生過去18年間の変化)

上流域での貯水ダム建設, 堤防や各種水門の整備, 流域の土地利用形態の変化など河川を取りまく環境も, 近年大きく変わってきている。また, 降雨時の増水, 洪水などの自然からのインパクトの変化も加わっている。多摩川では1976年に詳細な植生分布図が作成された後も, 1979年, 1995年の2回植生分布図が作成されている。ここでは最初に作成された1976年と最新の1994年の植生分布図を利用し, 過去18年間の変化状況を検証した。この間に, 例えば1982年に大増水があり, 河川敷の河道特性や植生に大きな変化が生じた時期もある。こうした異状年を包含した上での変化とした。

1) 18年間の変化の概況

多摩川河川敷の植生は, 植生のタイプによってその増減の動向は様々である。しかし, トータルとして, ここ18年間では植生の専有面積は増加傾向にある。

表6 過去18年間における植生の占有面積の変化 (多摩川)

調査年	1976年	1984年	1994年
占有面積 (ha)	1,224	1,044	1,457

(造成裸地, 住宅地, 自然裸地, 開放水面を除く植生占有面積)

次に, 植生別に占有面積の変化動向をみると, 以下のようにまとめることができる。(図5参照)

a) 増加した植生

とくに増加傾向の著しいのはオギ群集であり, 約

155ha増加している。次いでニセアカシア群落, イヌコリヤナギ群集, モウソウチク・マダケ林, シラカシ群集, ケヤキ群集, オニグルミ群落, クヌギーコナラ群集が増加傾向にある。いずれも樹林の増加傾向が目立っている。

b) 減少植生

一方, 減少のもっとも著しいのは自然裸地であり, 約125ha減少している。次いでトダシバ群落, ススキ群落の多年生草本群落, アキノエノコログサーコセンダングサ群集, ナガバギシギシーギシギシ群集, コアカザーオオオナモミ群集, オオイスタデーオオケタデ群集などの一年生草本群落である。いずれも草本植物群落の減少が目立っている。

すなわち, 河川敷の植生は, より繁茂し, 藪化が進行しているということが出来る。すなわち, 一年生草本群落は多年生草本群落へ, 樹林はより高木林へと遷移しつつあることを示している(図6)。これは, 上流域でのダム構築や治水工事の進行に伴い, 増水, 洪水頻度の低下が原因しているものと考えられる。

遷移の進行

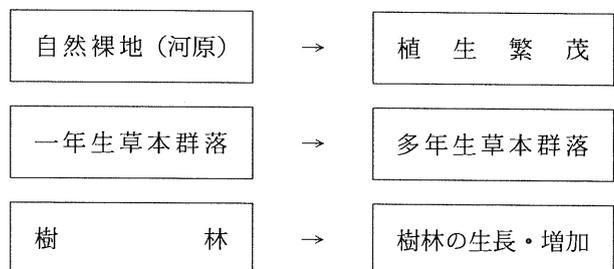


図6 河川敷植生18年間の変化動向

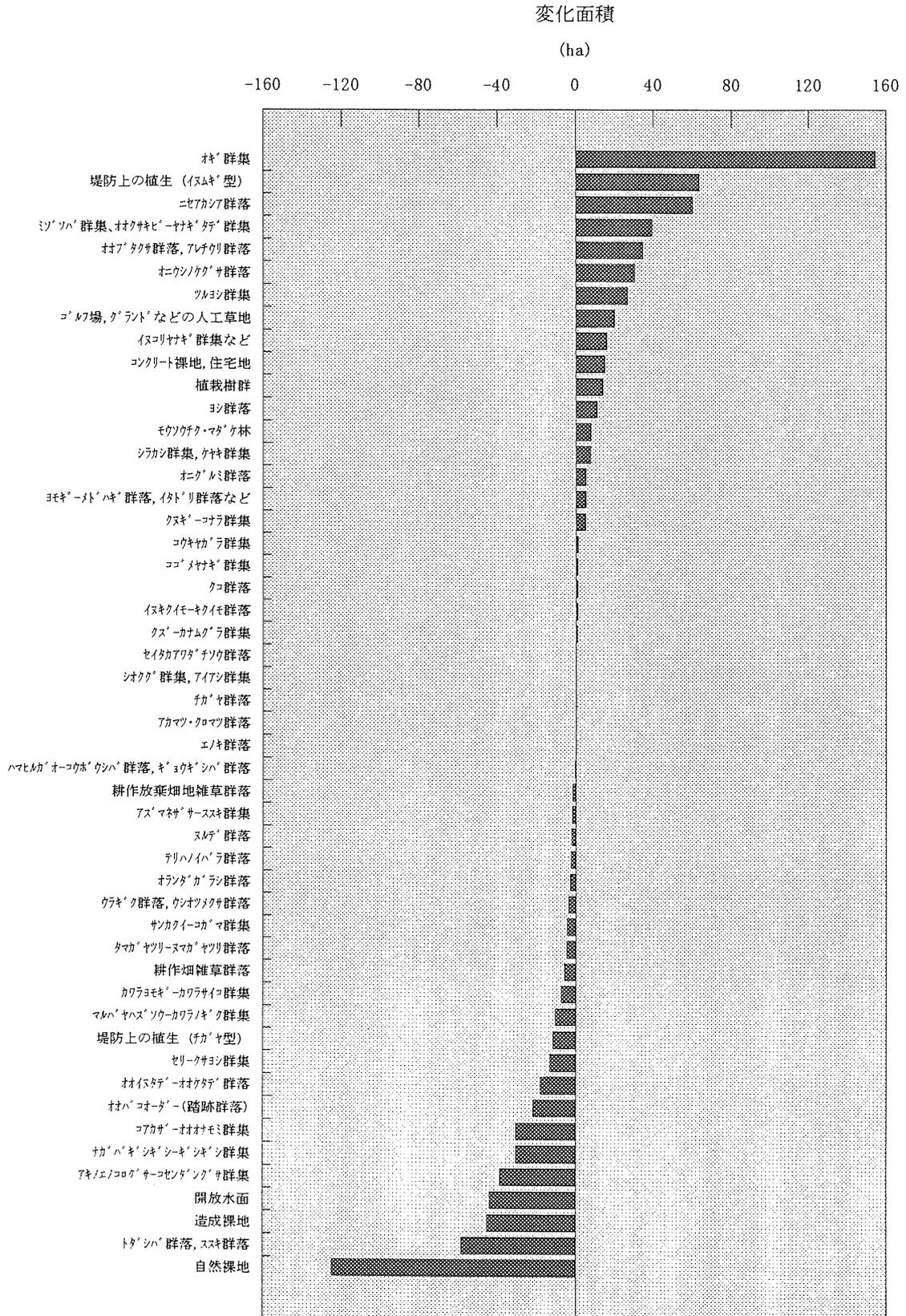


図5 約18年間の各植生の変化動向 (1976年を「0」としたときの増減面積)

2) 河原の変化動向

河川の景観を代表するもののひとつが、玉石河原のある開放的な河川敷景観である。

多摩川河川敷における過去18年間の変化として玉石河原がどのように変遷しているかを考察してみた。

ここで指標となる植生単位は、植生のほとんどない”自然裸地”および植生が比較的まばらで玉石が一部見えるような”植生がまばらな植生”である。

表7 河原の変化指標となる植生(凡例)

“植生のほとんどない裸地”
43 自然裸地
“植生がまばらな植生”
12 アキノエノコログサーコセンダングサ群集
13 マルバヤハズソーカワラノギク群集
14 カワラヨモギーカワラサイコ群集

自然裸地には、玉石河原だけではなく、河口域の砂泥質の干潟も含まれる。

解析の結果、玉石河原や干潟は全体的に大幅に減少傾向にある(図8)。河口から0~5km付近の減少は干潟の減少と理解することができる。20kmより上流での減少は、玉石河原の減少と見ることができよう。とくに30kmから45kmの中流域での減少が目立っている。

自然裸地の減少は、玉石河原そのものの減少を意味し、一年生草本群落(アキノエノコログサーコセンダングサ群集)の減少は、それが増水頻度の高い水辺の砂礫地に主に生育することから、植生のまばらな砂礫地が減少したことを示している。

3) 特定種の生育環境の変化

河川敷での植生遷移の進行に伴う藪化は、河川敷の一つの特徴である玉石河原の減少をもたらしている。こうした河原には、カワラノギク、カワラサイコ、カワラナデシコ、カワラヨモギ、カワラハハコなど“河原”や“川”をイメージさせる形容詞の冠した植物が多数生育している。これらの種群は、河川水辺の国勢調査の際に特定種や代表種と選定されている種群でもある。

植生分布図の凡例で表現すると、マルバヤハズソーカワラノギク群集、カワラヨモギーカワラサイコ群集などであるが、ここ18年間の変化動向としては、いず

れも大きく減少している(図7)。

すなわち、河川を特徴づける植物群である特定種や代表種の生育環境そのものが消失していることを意味している。こうしたことから、特定種や代表種の保全に際して、生育立地環境そのものの保全を含めた新たな対応策が必要となってくる。

4) 帰化植物群落の動向

帰化植物群落の存在は、我々人間の河川の利用頻度を示すものである。一般にも帰化率と表現され、在来植物に対する帰化植物の出現比率によって表記される。帰化率が高い地域は人為的攪乱の大きい場所であると評価される。帰化率(IA)は、ある地域に生育する全植物数に対する帰化植物数で示されるが、ここでは群落としての植生を指標とした帰化植生率(IAC)で表現した。

$$\text{帰化率IA} = \frac{\text{帰化植物数}}{\text{全生育植物数}} \times 100$$

$$\text{帰化植生率IAC} = \frac{\text{帰化植物群落占有面積}}{\text{全植生占有面積}} \times 100$$

多摩川での帰化植物群落とは、

- 5: オオブタクサ群落, アレチウリ群落
- 6: オランダガラシ群落
- 8: オニウシノケグサ群落
- 10: セイタカアワダチソウ群落
- 11: イヌキクイモーキクイモ群落

の計5群落である。

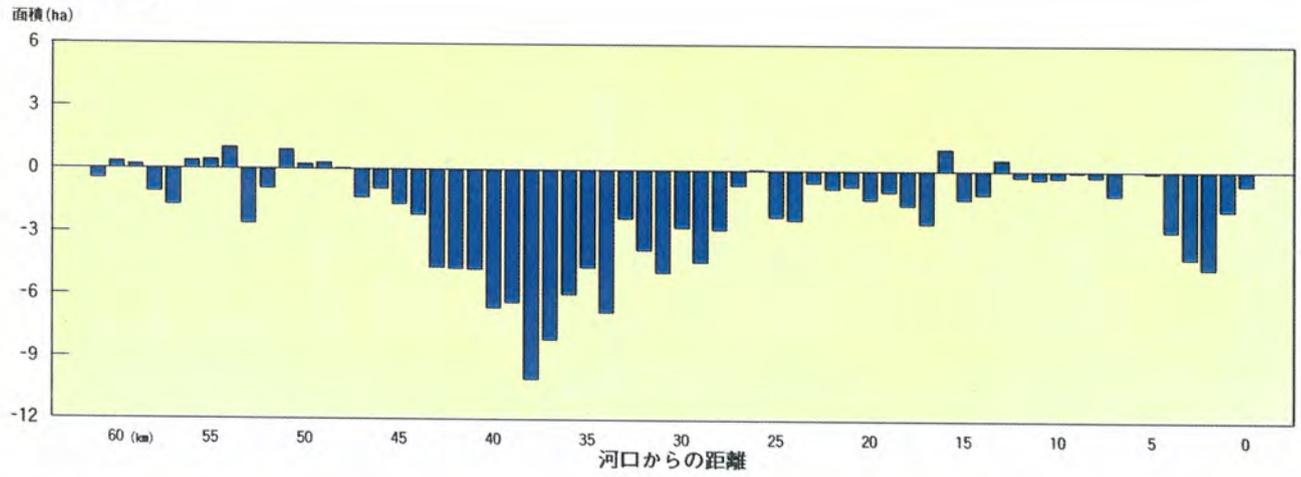
解析の結果、1km区間あたり平均して約2haに及ぶ帰化植物群落が発達しており、とくに中流域の25~35km附近では数haに及ぶ帰化植物群落が分布している(図8)。

5) 都市化の動向

ここ18年間の河川敷の植生の変化は、帰化植物群落の動向によっても明白に示される(図8参照)。すなわち、最上流域と河口付近を除いて、大幅に増加しており、何らかの人為的影響が強く影響してきたことを暗示させる。

さらに、より幅を広げた「都市化」を指標する植生と「自然さ」を指標する群落の変化動向をその占有面積の変化で見てみた(図9)。その結果、「都市化」を指標する群落では、ほぼ全域にわたって一貫して増加しているのが分かる。しかも、その増加量は平均5ha

①自然裸地の変化



②植生がまばらな川原の変化

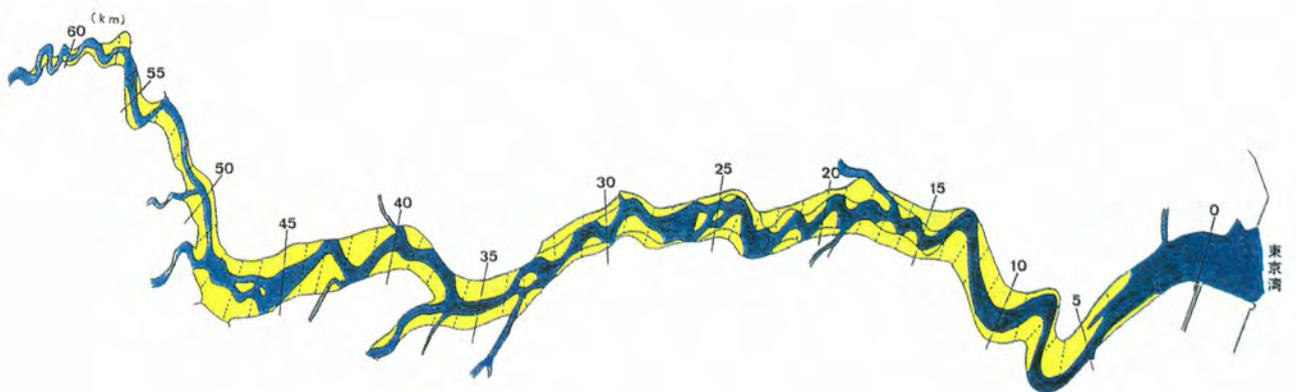
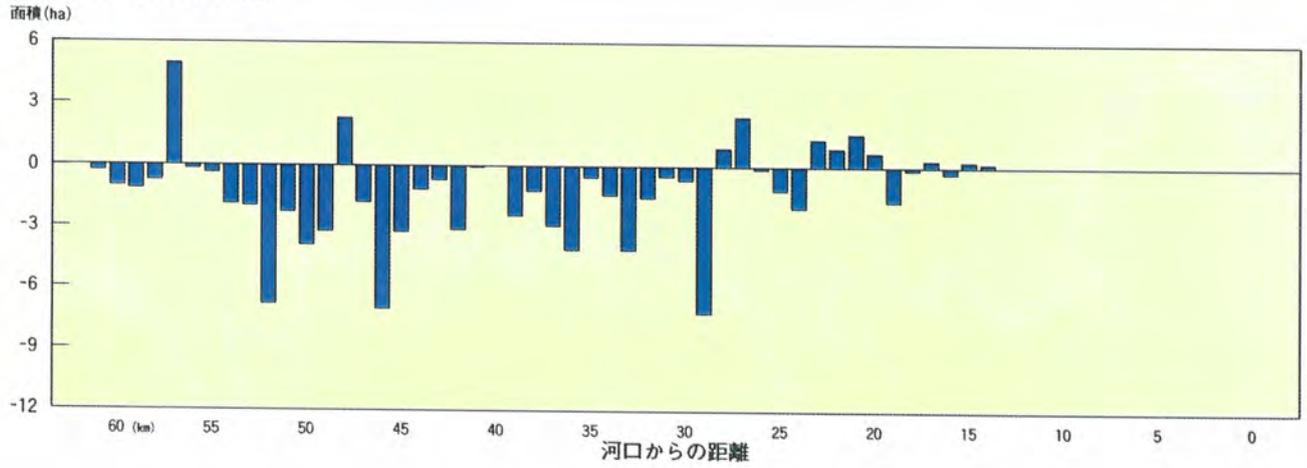
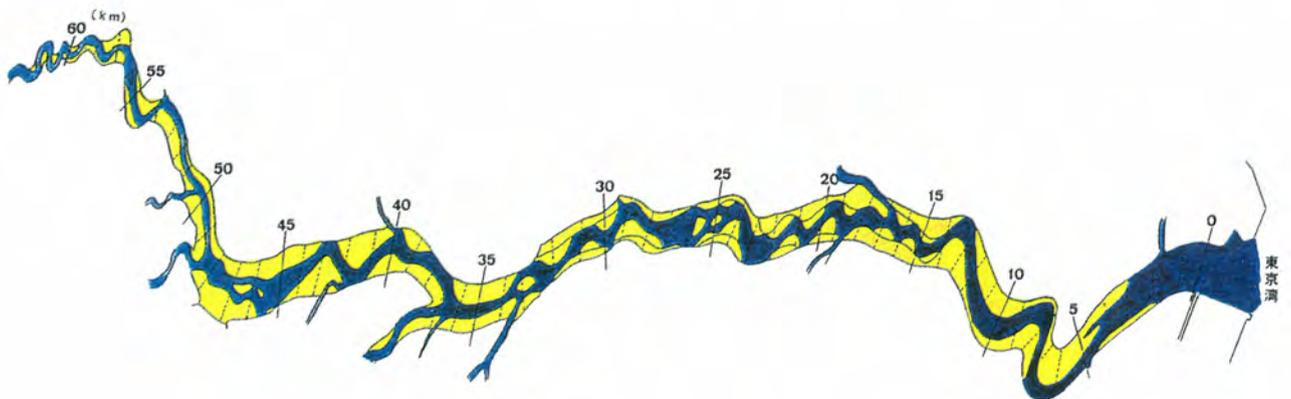
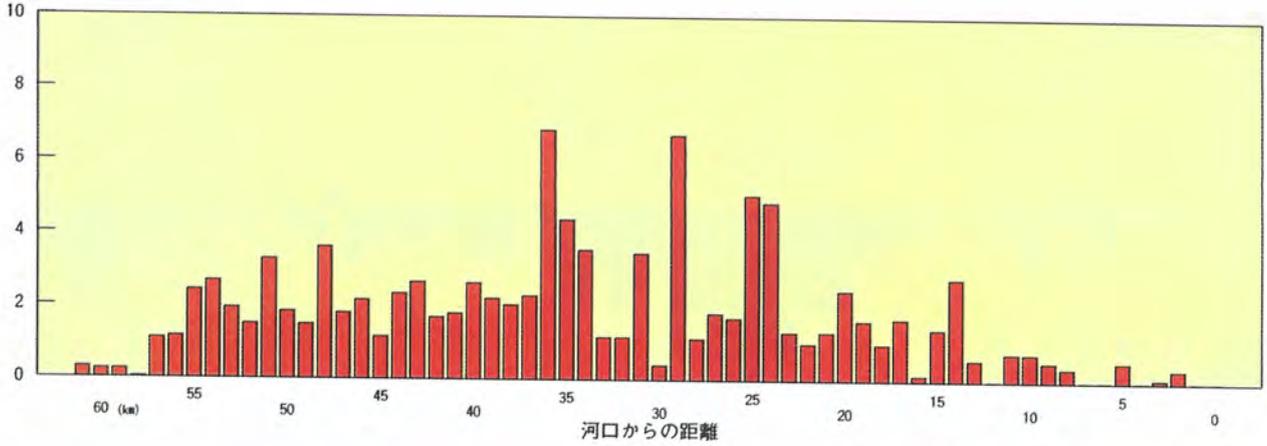


図7 玉石河原の過去18年間の変化動向
「自然裸地」及び「植生のまばらな河原」双方が共に大きく減少している

帰化植物群落の分布量

面積 (ha)



帰化植物群落の変化

面積 (ha)

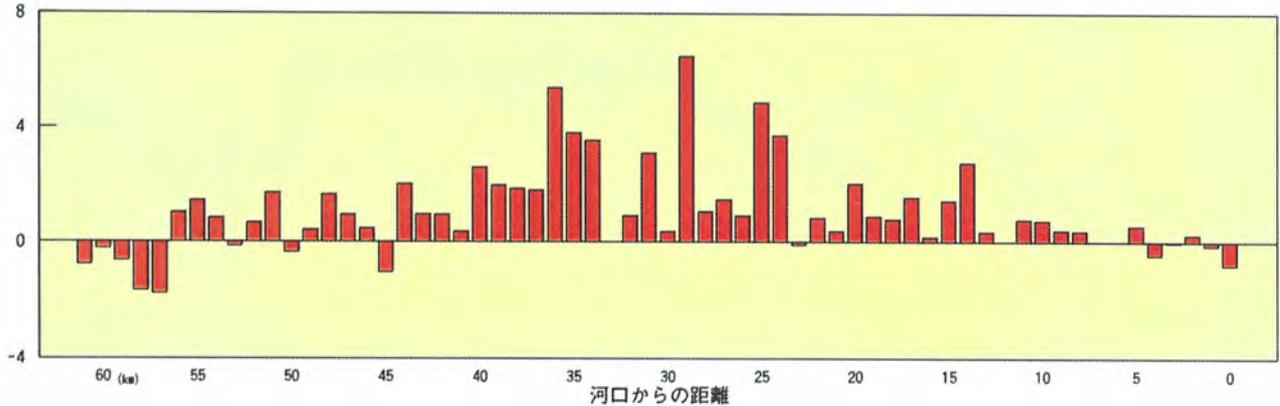


図8 多摩川における帰化植物群落の現況(上段)と18年間の変化動向(下段)

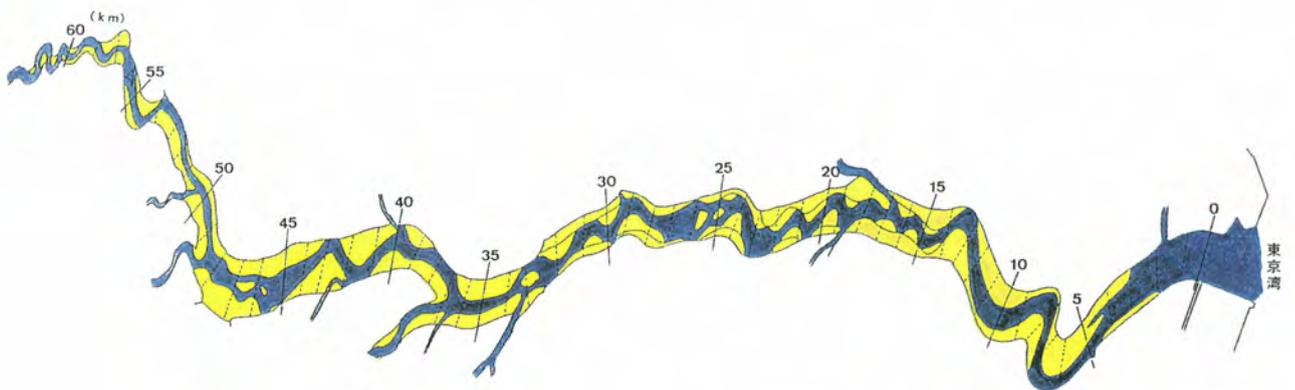
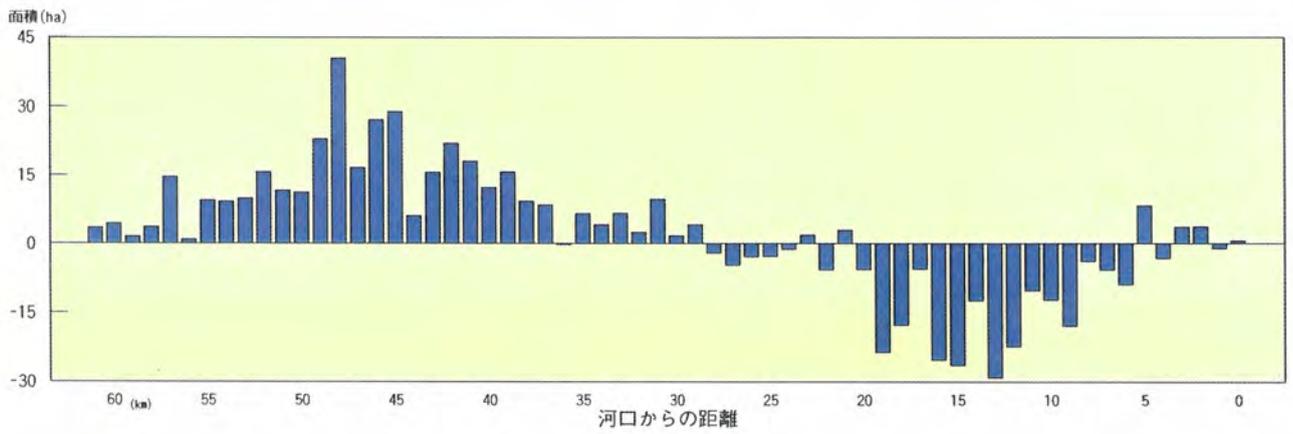
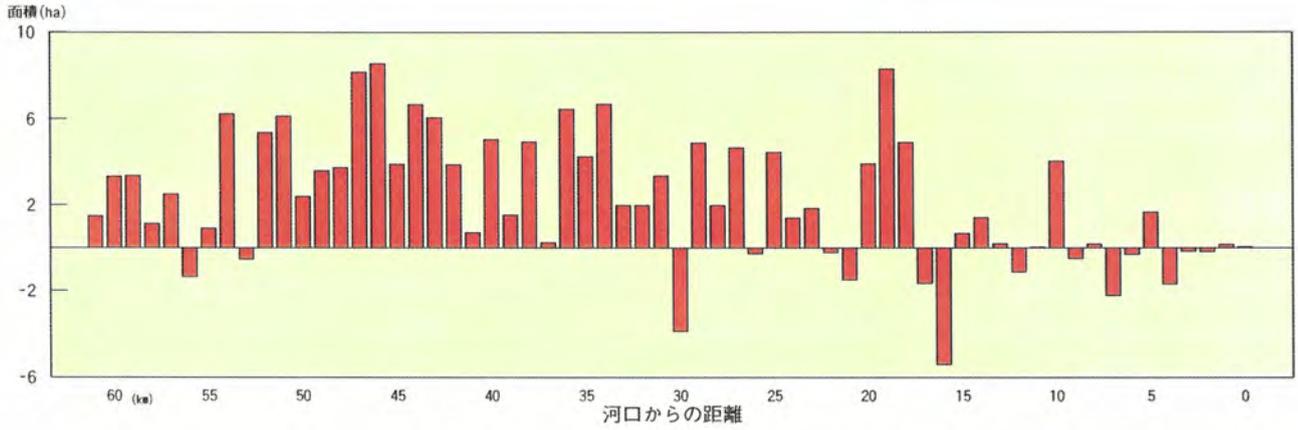


図9 「都市化」を指標する群落(上段)と「自然さ」を指標する群落(下段)の18年間の変化動向

から15haにも及ぶ大幅なものである。一方、河川本来の「自然さ」を指標する植生で、ここ18年間の変化動向を見ると、河口から5kmから20kmにかけての下流域で大幅に減少しており、河川の自然が失われつつあることを示している。しかし、30kmより上流域では逆に「自然さ」を示す群落は増加している。この上流域では、土地利用もほぼ固定され、植生が安定・拡大の方向に或ることを示している。

おわりに

河川改修等の計画・設計段階において、あるいは施工実施段階において必要な資料を得る為に様々な調査が行われるのが通例であり、施工実施の上で不可欠である。一方において調査によって得られた資料は、時に膨大なものとなり、結果の整理・要約も必要となってくる。

「水辺の国勢調査」は、当面の特定の計画、設計への利用を前提としていない基礎調査である。このような場合においては、具体的な計画、設計、施工に利用しようとする際には、基礎調査と現場サイドとのインターフェイスとなる調査結果の解析と要約はより重要である。

この報告は、水辺の国勢調査で蓄積されつつある貴重な資料を整理、要約する一手法を提示したものである。すなわち、今回の解析項目は以下のとおりである。

1. 河川敷内植生の現況の把握

主要植物群落の分布状況

河川植生の多様性

帰化植物群落の動向

都市化の度合い評価

植生による目標景観の分類

2. 過去18年間における河川敷植生の変化動向

河原の動向 河川敷の植生繁茂、藪化

特定種の成育環境の変化

帰化植物群落の動向

河川敷の都市化、自然さの変化動向

などである。

この報告では、多摩川をその例として調査資料の解析を試みたものであるが、「水辺の植生調査」が行われ、資料の蓄積のある他の河川においても同様な手法で解析・整理されることが望まれる。また河川別の比較検討をすることによって管轄する全国の河川の生態的特徴を明確にすることが可能となろう。

資料の整理、要約には他にも様々な方法があるし、視点を変えれば新たな整理方法も可能である。ここで

示したのはその一例であり、解析の方法論そのものの検討も必要であろう。

このように整理された資料は、水理や水文資料、あるいは動物群集などの各種資料、河川の空間利用形態や景観など社会・経済的な資料など、多方面の資料との比較・検討を可能にし、より有機的で、総合的な河川管理への指針として役立つものと期待される。

参考文献

- 1) 建設省河川局治水課(1994):平成3年度河川水辺の国勢調査年鑑,植物調査編,999pp,リバーフロント整備センター,山海堂.
- 2) 建設省河川局治水課(1995):平成4年度河川水辺の国勢調査年鑑,植物調査編,1433pp,リバーフロント整備センター,山海堂.
- 3) 建設省河川局治水課(1996):平成5年度河川水辺の国勢調査年鑑,植物調査編,Book & CD-ROM,リバーフロント整備センター,山海堂.
- 4) 建設省河川局治水課(1996):平成5年度版河川水辺の国勢調査調査マニュアル(案),生物調査編,313pp,リバーフロント整備センター.
- 5) 木元新作(1976):生態学研究法講座14 動物群集研究法 -多様性と種類組成-,共立出版.
- 6) 財団法人河川環境管理財団 河川環境総合研(1995):河川の植生と河道特性,127pp.
- 7) 佐々木 寧(1995):1.欧州における「多自然型川づくり」の背景,河川環境総合研,研究所報告(1):63-71,財団法人河川環境管理財団 河川環境総合研.
- 8) 奥田重俊・藤間熙子・井上香世子・箕輪隆一(1977):多摩川河川敷現存植生図(1:50,000),財団法人とうきゅう環境浄化財団.
- 9) 奥田重俊・曾根伸典・藤間熙子・富士 堯(1979):多摩川河川敷現存植生図(1:5,000),財団法人とうきゅう環境浄化財団.
- 10) 奥田重俊・小松聡子・畠瀬頼子(1995):多摩川河川敷現存植生図(1:5,000),建設省関東地方建設局京浜工事事務所,財団法人 河川環境管理財団.
- 11) 奥田重俊・佐々木 寧編(1996):河川環境と水辺植物.261pp,ソフトサイエンス社.

河川環境の現状認識に関するアンケート調査

武田 宏*・藤原 猛**・中村 元紀***

要 旨

河川環境の評価に生態系を利用した手法の開発を行うにあたり、種々の立場から見た河川環境の目標についてアンケート調査を行った。一般に、自然保護の立場からの意見などでは、水質の有機物汚濁負荷量がなく、人為的改変が加えられていない地形で、水生生物の種の多様性が高い環境を「良い環境」とされていることが多い。また、漁業者にとっては漁業の対象としている魚種が卓越して豊富に産するような環境が「良い環境」とされることが多く、また、魚種にもよるが、水産業が発達するような水域は富栄養な水質で、清涼な水質とは言い難い水域も多い。さらに、河川管理の立場からは、洪水時を想定したり、水質悪化を抑制するための治水計画を策定する必要があり、上記のような多様性のある環境を人為的に改変する必要が生じる場合が多い。

このように、目標とする河川環境についての認識は、人それぞれの立場で異なっているため、河川管理者は種々のニーズに応えながら治水、利水計画を立案する必要がある。

また、自然保護の立場の意見や水産業からの意見を踏まえて、目標とする河川環境をある程度定義付けし、評価基準の目安を有することも必要であると考えられ

る。

そこで、本検討項目では、種々の立場の機関、団体がどのような環境目標を持っているかを資料収集及び聞き取りにより調査し、その結果をとりまとめるものとする。

1. 調査実施方法

アンケートは、河川環境に関わりがあると考えられる以下のような機関・団体に送付し、回収を行った。

- ・建設省、北海道開発庁の河川関連事務所
- ・都道府県
- ・県庁所在地
- ・ふるさとの川モデル事業に指定・認定された市町村
- ・霞ヶ浦、琵琶湖、多摩川、長良川、四万十川、球磨川流域の市町村
- ・河川に関連した活動を行っている市民団体

なお、建設省・北海道開発庁の事務所は、各所長宛に送付し、地方自治体は代表として企画部局宛に送付し、河川部局、環境部局、農政部局、水産部局等それぞれに記入して頂いた。

送付したアンケートの回収状況を表1.1に示す。

表1.1 アンケート回収状況

	送付団体数	返信団体数	回収率	備 考
建設省等	116	89	76.7%	北海道開発庁を含む
地方自治体	375	217	57.9%	1部署以上から返信があった自治体
市民団体	44	27	61.4%	
全 体	535	333	62.2%	

* 武田 宏 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第二部長
** 藤原 猛 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 主任研究員
*** 中村 元紀 新日本気象海洋(株) 環境創造研究所

2. アンケート実施結果の集計・整理

アンケートの各質問項目ごとに、「全体的」と「部局別」の分類で集計を行った。

部局の分類は「建設省等」及び「自治体(河川)」を①河川管理者,「自治体(環境)」を②環境部局,「自治体(農政)」と「自治体(水産)」を③農林水産部局,「自治体(企画等)」を④企画部局等,そして⑤市民団体と大きく5つに分類し,返信数の少なかった「自治体(下水道)」及び「自治体(水道)」はこの解析から除外した。

2.1 河川の現状について

各団体ごとに管理している河川,身近にある河川等任意に設定してもらい,その河川の現状(水量,水質,生態,景観,イメージ)について,回答してもらった。

1) 水量について

現状の河川の水量について,「非常に多い」「多い」「普通」「少ない」「非常に少ない」の5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,「普通」と答えている人が48%と最も多く,次いで「少ない」と答えている人が36%と多くなっている。「少ない」と答えた人は,昔と比べて,あるいは本来あるべき流量と比べて「少ない」と感じていると考えられる。

部局別に見ると,市民団体においては「少ない」「非常に少ない」の割合が他に比べて若干多くなっている。

2) 水質について

現状の河川水質について,「非常に良い」「良い」「普通」「悪い」「非常に悪い」5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,最も多い回答は「普通」と答えている人が39%で,「悪い」が32%,「良い」が21%と意見が分かれている。

部局別に見ると,農林水産部局は「普通」と「悪い」が同数となっており,また,市民団体においては「大変悪い」の割合が他に比べて若干多くなっている。

3) 生態について

①魚の数

現状の河川における魚の数について,「非常に多い」「多い」「普通」「少ない」「非常に少ない」の5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,最も多い回答は「普通」で42%,

次いで「少ない」が30%,「多い」19%と意見がわかれている。

部局別に見ると,市民団体においては「非常に少ない」が「普通」と同数で最も多くなっている。また,魚等との接触が多いと思われる農林水産部局では,「少ない」の割合が高くなっている。

②鳥の数

現状の河川における鳥の数について5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,最も多い回答は「普通」で46%,次いで「少ない」が30%,「多い」16%と意見が分かれ,魚とほぼ同じ結果となった。

部局別に見ると,農林水産部局では,「多い」と感じている人の割合が他の部局と比べて少ない。

③河川内の植物の量

現状の河川内の植物の量について5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,「普通」が45%と最も多く,「悪い」が25%,「良い」が21%と意見が分かれている。

部局別に見ると,「河川管理者」では「多い」の割合が多くなっているが,「農林水産部局」では「少ない」の割合が多くなっている。

4) 景観について

現状の景観について5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,「普通」が45%と最も多く,次に「良い」が28%,「悪い」が21%と意見が分かれている。

部局別に見ると,「河川管理者」「企画部局等」では次に「良い」が多くなっているが,その他の部局では「良い」と「悪い」がほぼ同数となっている。

5) 河川の現状のイメージについて

現状の河川のイメージについて5段階で評価してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると,「普通」が43%と多く,次いで「良い」「悪い」が26%全く同数になっている。

部局別に見ると,「河川管理者」,「企画部局等」,「市民団体」は現状の河川に対し,「良い」イメージを持っており,「農林水産部局」は「悪い」というイメージを持っていることがわかる。

ここで,同じ河川管理者という立場の「建設省等」と「自治体(河川)」を比べると「悪い」と「良い」の割合が逆転しているが,この理由として,「建設省等」が管理している大河川では水質は概ね良好で生物も多く,「自治体(河川)」が管理しているような小河川では水質悪化が問題となっており,生物の

量も少ないことが推測される。このことは、水質、生態についても同様であった。

2.2 河川の重要な構成要因について

「水量、水質、生物、親水性、景観、河川の形態、その他」の中から重要と思われる河川の構成要因を優先順位を付けて3つ選択してもらった。優先順位を考慮しないで集計した結果は次の通りである。

全体的に見ると、「水質」が29%と最も多く、次いで「生物」が19%、「水量」「河川の形態」「景観」が15%前後、「親水性」が9%と最も少ない。

部局別に見ると、どの部局も「水質」が最も多く、次いで多いのが「河川管理者」では「水量」、その他の部局では「生物」となっている。(図2.1参照)

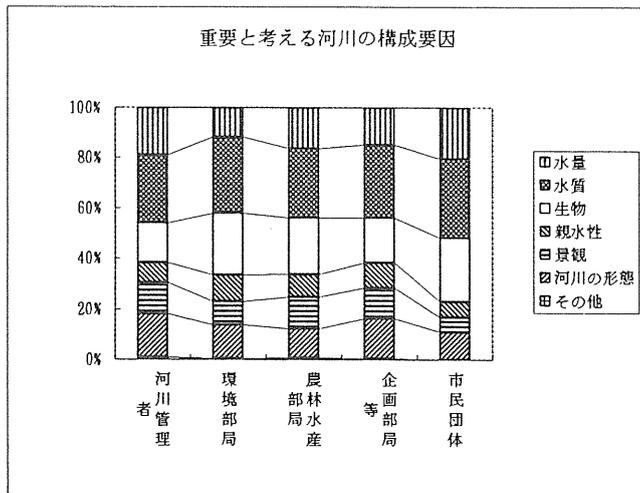


図2.1 河川の重要な構成要因

また、各項目がどのような優先順位を付けられているのか、各項目ごとの特徴を以下に記す。

水量……河川管理者、市民団体で50%以上が重要だと考えている。ただし、河川管理者の場合は「1番」を付けている人が多く、市民団体では「3番」を付けている人が多くなっている。他の部局でも30~50%近くの人が重要だと考えている。

水質……どの部局でも重要だと考えられている。特に環境部局、企画部局等では「1番」の人の割合が50%を超えている。

生物……環境部局、農林水産部局、市民団体が重要だと考える人の割合が高くなっている。但し、どの部局も「1番」に挙げている人は

少ない。

親水性……どの部局も重要として挙げている人の割合は低い。「3番」に挙げている人が多い。

景観……市民団体以外の部局で30~40%の人が重要だと考えている。但し、「3番」に挙げている人が多い。

河川の形態……河川管理者、企画部局等で半数近くの人が重要だと考えている。

その他……安全性、多様性(河川管理者)、ゴミ等の流出(農林水産部局)等の回答が見られた。

1) 水質項目について

前出の重要な河川の構成要因に関する設問で「水質」を選んだ人を対象にどのような水質項目が重要かを選択してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると、河川の汚濁の指標として最も一般的な「BOD」を29%の人が1番に選んでいる。次いで多いのが「透明度」22%、「濁り」12%と続いており、視覚的な指標となっている。

部局別に見ると、「環境部局」では、他に比べて「DO」を重視している割合が多くなっている。また、「農林水産部局」では、他に比べて「水温」を重視している割合が多くなっている。

2) 生物について

前出の重要な河川の構成要因に関する設問で「生物」を選んだ人を対象にどのような生物が重要かを選択してもらった。集計結果は次の通りである。

全体的に見ると、「魚類」が33%と最も多く選ばれており、次いで「水生植物」26%、「鳥類」13%、「昆虫類」12%となっている。

部局別に見ると、「農林水産部局」では「エビ・カニ類」の割合が他に比べ高くなっており、食用の対象であることから水産関係では重要度が高いと考えられる。部局別に見ると、「市民団体」では「昆虫類」の割合が高くなっている。これは昆虫の中でも特にホタルの保護団体が多いことが原因であると考えられる。

3. アンケート回答結果の解析

アンケートの集計結果を踏まえ、幾つかの解析方法により、立場による特徴等を検討した。

3.1 クラスタ分析による解析結果

①各部局間の関係

分析結果をみると、各部局間とも顕著な傾向は示し

ていないが、強いて言うと、「環境部局」、「農林水産部局」、「市民団体」と順に現状に満足していないことがわかる。このような結果になった原因として、「河川管理者」は「水量」、「水質」、「生態」、「景観」等河川環境全般にわたって考慮しているのに対し、「環境部局」は「水質」を主とした河川環境を、「農林水産部局」は魚類を中心とした「生態」を主に、「市民団体」は自分たちが保護しようとしているホタル等の「生物」を主に河川環境を見ているためではないかと考えられる。なお、「企画部局等」が「河川管理者」と近くなった原因としては、「企画部局等」は直接河川行政に関わっていないために結果的に広く河川環境を見ていることとなり、常時河川環境を見ている「河川管理者」と同じような傾向になったと推定される。

②各項目間の関係

分析結果から「水質」と「魚」、「鳥」と「植物」そして「景観」と「全体のイメージ」がそれぞれ関係が深いことがうかがえる。また、大きく分けて「水質」、「生態」のグループと「景観」、「全体のイメージ」のグループ、そして独立して「水量」のグループができている。このことから「河川全体のイメージ」には「景観」が大きく関わっていて、「水量」はあまり関係ないことが推測される。

3.2 優先順位を考慮に入れた解析結果

優先順位を考慮し、部局別に比較すると、図3.1に示すように、どの部局も「水質」の優先度が最も高くなっており、次いで「市民団体」では「生物」、他は「水量」となっている。項目別に見ると「水量」を最も重要視しているのは「河川管理者」、「水質」は「環境部局」、「生物」は「市民団体」、「親水性」は全体的にあまり重要視されていないが「企画部局等」、「景観」は「農林水産部局」、「河川の形態」は「河川管理者」となっている。

4. 部局別による河川環境のまとめ

各部局について、河川環境を考える際、どのようなことに着目・考慮しているのかを整理した。全体的な傾向としては、立場の違いに関わらず、河川の現状をイメージするときは、景観的なことが頭に浮かびやすいためか、「河川全体のイメージ」と「景観」は強く結びついているが、重要なものはどれか改めて考えた場合には「水質」「生物」等を中心に表4.1に示されるように各部局の性格がよく現れてくると考えられる。

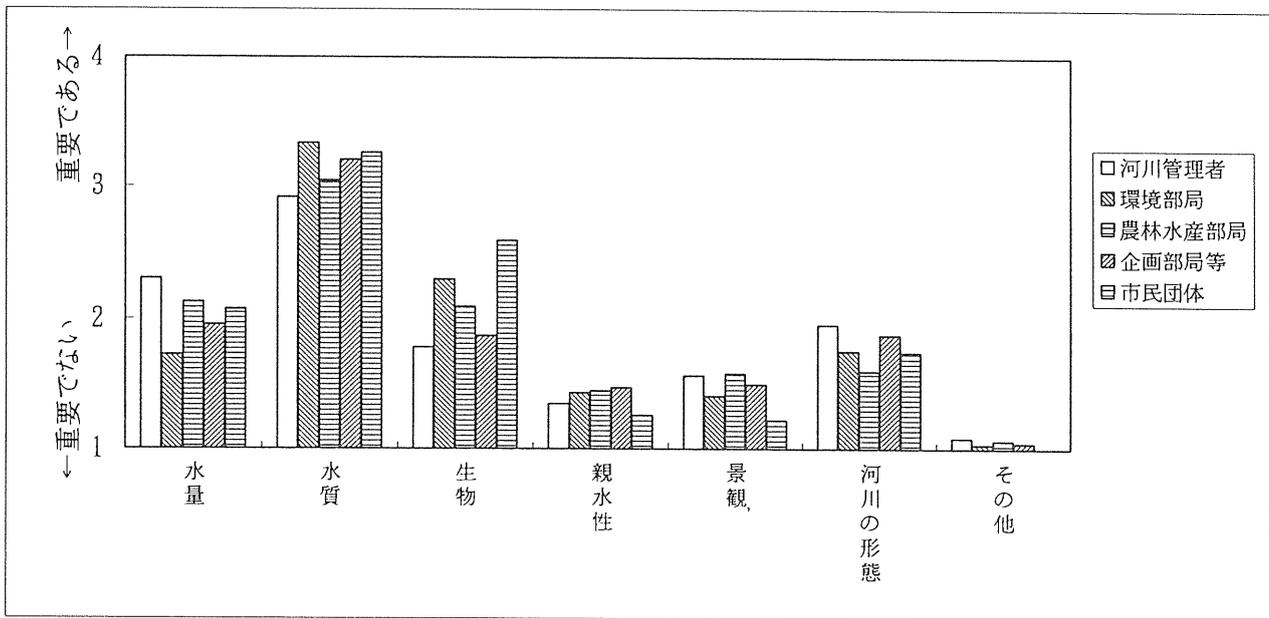


図3.1 部局別重要な河川の構成要因

表 4.1 部局の性格別による河川環境の整理

河川管理者	水量，水質，生物，河川の形態等をまんべんなく考慮している．水質では，BODを主な指標とし，濁り，透明度等も考慮している．生物では魚類を中心に鳥類，昆虫類，水生植物等を重要と考えている．
環境部局	水質，生物を重要視している．水質ではBOD，DO等を主な指標としている．生物では魚類と水生植物を重要と考えている．
農林水産部局 (漁業団体も含む)	水量，水質，生物等を重要視している．水質では，BODの他，濁り，透明度について考慮している．また，特に水産部局では，他の部局に比べて「水温」の割合が高くなっている．生物では，魚類を主とし，エビ・カニ類の割合が他よりも高くなっている．ただし，自然を改善して対象とする生物を増やすより，養殖・放流等により河川内の生物を増やそうとする傾向がある．
企画部局等	河川管理者と同じよう傾向がみられるが，際立った特徴は見られない．
市民団体	水量，水質，生物に高い関心を持っている．水質ではBOD，透明度等が大切だと考えている．生物では，魚類の他，昆虫類の割合が他に比べて高くなっている．

川遊びについてのアンケート分析と川遊びの方向性

河瀬 芳邦*・芝寄 茂**・辻本 紀之***
森脇 栄一****・安宅 貴生*****・早瀬 純一*****

要 旨

和歌山県の水辺の文化づくりの一環として行われている川遊び、川学習のガイドブックの作成を通して、子どもを川に呼び戻し、川を知る体験を通して、水と緑と生物といった河川環境をいとおしむ心を育み、災害からまちや人を守る治水の大切さ、水をきれいにすることの大事さや水を汚すことの重大さに気づくような、遊びと学びのフィールドとしての「遊び文化」を創造しようとするものである。

このため、著者らはガイドブックの県下全域版と各河川版を作成することを目的として、川遊びの実態と要望を把握するため、ボーイスカウトの団員とリーダーを対象として、アンケート、ヒアリング調査を実施した。

本論文は、それらのアンケート、ヒアリング調査結果を分析し、川遊びのガイドブック作成のための方向性について考察したものである。

1. 緒 言

昭和40年代以降の高度経済成長の時代を経て、河川の安全度の向上と相反するかのような河川の水環境の質の低下などにより、人々の心が河川や水辺から遠ざかるようになったといわれて久しい。そのため、川に沿いながら生まれ、育まれてきた地域独特の生活技術や漁法、あるいは行事や遊びなどの伝承的、文化的な民族資源の継承が困難ともいえる状況に立ち至っている。

くわえて、次代を担う子どもたちをとりまく環境をみてみると、遊びの世界がかって、自然のなかで自ら

が開発し、受け継いで来た子どもたちの文化を創造できた時代状況から、現代の消費生活の豊かさに裏打ちされ、大人が仲介したり、作り与えるともいえる設定された遊びや商業的なTVやゲームなど刹那的に面白いものに変質している。

このような、子どもが自分から何かを求めたり、関わったり、作り出すという行動の芽を摘んでいると見られる社会の進化が考えられるほかに、子どもたちの、自然に対する認識という観点からみても、今後より深化していくことは期待できないようにも考えられる。

さいわい、県下の河川は、近畿圏でみても有数の多様で多彩な自然や生態系、景観、親水などの資源を有しており、豊かな河川の恵みを享受するため、地元住民や団体あるいは都市住民による積極的なフィールド活動やアウトドア・レクリエーションなどが展開されている。あわせて河川や生物の環境保全などにも力が注がれていることは周知の事実でもあることからみて、いまだ遊びや学びのフィールドとして相当のポテンシャルがあるものとして期待できる。

このため、従来より県で提唱されている河川を中心とした「水辺の文化づくり」の一環として、子どもを川に呼び戻し、川を知る体験を通して、水と緑の生物といった生物環境をいとおしむ心を育み、災害からまちや人を守る治水の大切さ、水をきれいにすることの大事さや水を汚す重大さに気づくような、遊びと学びのフィールドとしての「遊び文化」を創造する和歌山の河川の方向性を指し示す、ガイドラインづくりが必要となっている。

-
- * 河瀬 芳邦 建設省 遠賀川工事事務所長（前 和歌山県 土木部 河川課長）
** 芝寄 茂 和歌山県 土木部 河川課 治水班長
*** 辻本 紀之 和歌山県 土木部 河川課 治水班主査
**** 森脇 栄一 前田建設工業(株) 大阪支店（前 (株)河川環境管理財団 大阪研究所 次長）
***** 安宅 貴生 (株)河川環境管理財団 大阪研究所 主任研究員
***** 早瀬 純一 (株)河川環境管理財団 大阪研究所 研究員（嘱託）

2. アンケート・ヒアリング調査の概要

2.1 ボーイスカウト（男子）の団員・リーダーへのアンケートの実施

ベーデン・パウエルは1907年にボーイスカウトを創始し、「遊び心」を持った永遠の少年として、遊びやゲームをスカウトのプログラムの中心に据えたといわれる。

遊びやゲームに野外活動の要素を加えて教育プログラムとして定型化し、全世界に広まったボーイスカウト活動の成功の要因として次のように上げられている¹⁾。

- ① 遊び（ゲーム）—子どもが発見と修行を行う自然な方法
- ② 班—小共同体。決定と行動と助け合いの場
- ③ 隊—共同管理と民主主義の修行を可能にする、より大きい共同体
- ④ キャンプと自然の中での生活—自由な空間、現実と立ち向かうに最適の場
- ⑤ 「おきて」と「ちかい」—束縛されず自発的に約束を守る機会、自己超越と精神的開花への呼びかけ
- ⑥ 自己教育—自立と責任を養うひとつの過程
- ⑦ 神話—平和と世界兄弟愛という理想の建設者
- ⑧ シンボル—所属のしるしとしての制服、記章、標章

これらのボーイスカウト活動の意義と実績について敬意を払いつつ、青少年を対象とした自然の中の活動団体の中で最も熟練した技術や考えをもち、あるまとまりのあるグループとして、今回のアンケート調査に御協力を頂くこととなった。その意味で一般の青少年たち（ボーイスカウト活動等に参加していないという意味での）のもつ意識と技術とは開きがあるものと考えられるが、できるだけ専門的分野に立ち入らないような質問設定を行い、一般的意見の抽出に努めた。

2.2 アンケートの傾向把握

アンケート回収結果をもとに、年齢や地域などの属性に基づいたクロス解析を行い、以下のとおり野外活動に対する意向を把握した。

アンケート調査については、和歌山県土木部河川課による「遊び文化の水辺づくり」調査業務の一環として平成7年7月～8月に和歌山県ボーイスカウト連盟の団員・リーダーの協力を得てそれぞれ244票、47票

の回収を行った成果をもとに傾向を把握した。

3. アンケート調査結果の解析と考察

3.1 家の近くの川の利用状況

(1) 近くの川に行く頻度

近所の川に行かない理由は「汚いから」「危ないと家人に言われ」「危険と書かれている」など河川環境の劣悪化と未整備が大きな原因となっている。

今回の調査に協力してくれた子供達が近所の川に行く割合は、年齢別に殆ど差はないが若干小学生層で高く、年齢が進むにつれ低くなる傾向が伺える。

(2) 近くの川の利用目的

年齢別に利用の目的を見ると、「魚釣り」は各年齢層とも50～60%の利用率で最も高い。

特徴的なのは、小学生層は「堤防や川原で遊ぶ」「催しや祭りに行く」など遊び志向型が多い中学生、高校生になると「散歩をする」「川を見ていると面白い」など散策志向型が多くなり、遊び一辺倒の子供から青年への過渡期にあり、“友人と話しあったり”“もの思いにふけったり”，自立への旅立ちの一面が伺える。

また、近くの川に行く時の同伴者は「学校の友達」が圧倒的に多い。

(3) 近くの川の利用のキッカケ

川に行くキッカケは「友達に誘われて」「クラブやボーイスカウト等の野外活動」「自分の趣味で」が最も多く、友人とのコミュニケーションや団体活動への参加がキッカケとなったり川魚を釣りに行ったことが趣味となってライフワークの一つとなっているようだ。

利用目的が“遊び志向”の高い小学生層では家族とのコミュニケーションが大きなキッカケとなっている。

しかし、“散策志向”の高い中・高校生層では趣味としての魚釣りがキッカケとなっている。

3.2 家の近く以外の川の利用状況

(1) 遠くの川に行った経験

今回の調査対象となった子供の殆どが紀ノ川、有田川、貴志川、日高川など和歌山県内で家の近く以外の川に行っている。

(2) 遠くの川の利用内容

遠くの川の場合は「水泳」「キャンプ」「ハイキング」「釣り」「筏・ボートこぎ」「祭り行事」と団体、家族、友人など大勢でするアウトドアの遊びが多い。即ち、団体活動や家の人と行く割合が非常に高く、一人で行くことは殆どない。

「自転車」の利用率が高い。

(4) 遠くの川に行く時期

「春休み」から「夏休み」に行く子供が多い。

しかも、川が好きで「毎月の休日」に行く子供でも寒い冬の期間は敬遠し、温くなる5月以降9月までが利用期間である。

(3) 遠くの川に行く時の利用交通機関

遠くの川に行く時の利用交通機関は小・中学生層では「自動車」の利用率が高く、高校生層になると

(5) 遠くの川に行ったときの携行品

表3・1 持参したキャンプ用具（回答者数：139人）

キャンプ用具	頻度	キャンプ用具	頻度	キャンプ用具	頻度
テント	93	水筒	8	非常食	10
寝袋	56	弁当	5	虫よけ	9
グランドシート・マット	23	ロープ	22	救急箱	6
テーブル	16	カナヅチ	13	ラジオ	4
椅子	8	ナイフ	10	ポータブルテレビ	2
支柱	7	ナタ、斧	13	手旗	9
タープ	5	スコップ	5	無線機	2
ビーチパラソル	1	ノコギリ	2	ハンドマイク	2
毛布	1	モリ	1	三角きん	1
ランプ、ランタン	31	トイレトペーパー	10	防寒具	1
懐中電灯	18	タオル	6	カイロ	1
ヘッドランプ	2	洗面用具	2	コンパス	1
電池、電球	1	裁縫用具	1	リックサック	5
		ゴミ袋	2	フライ	8
				雨具（ポンチョ）	1
				セパレーツ	1

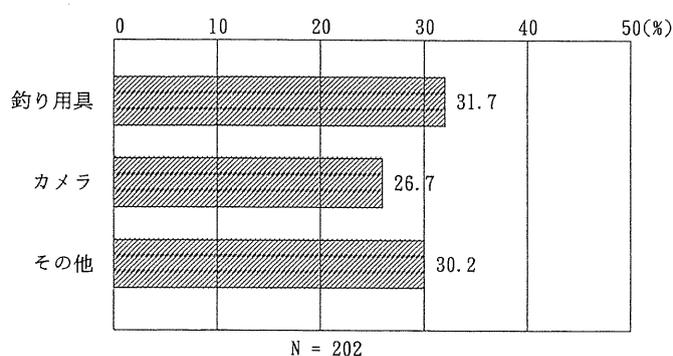
表3・2 持参した炊事用具（回答者数：133人）

炊事用具	頻度	炊事用具	頻度	炊事用具	頻度
コンロ	26	鉄板	2	栓抜き	3
かまど	3	包丁	25	罐きり	2
バーナー	19	ナイフ	5	コップェル	38
ライター、マッチ	17	まな板	18	コップ	35
薪	8	おたま	13	皿	35
燃料	8	フライ返し	9	やかん	7
プロパンガス	2	しゃもじ	8	バケツ	4
はんごう	58	ざる、ボウル	3	軍手	12
鍋	39	はし	42	洗剤	2
フライパン	11	スプーン	35	スポンジ	1
バーベキューセット	11	フォーク	33	たわし	1
金網	4	クーラーボックス	5	ごみ袋	1

表 3・3 持参したスケッチ用具（回答者数：36人）

スケッチ用具	頻度	スケッチ用具	頻度
鉛筆	22	画板	2
紙・レポート用紙	16	バインダー	2
スケッチブック	9	画用紙	1
消しゴム	8	色鉛筆	1
絵の具	5	筆	1
マジック	4	かばん	1

表 3・4 その他持参した持ち物



◆その他内訳（回答者数：51人）

その他内訳	頻度	その他内訳	頻度	その他内訳	頻度
水着	23	トランプ	6	サンダル	5
ゴムボート	4	ウォークマン	3	雨具	4
浮輪	2	花火	3	着替え	3
カヌー	1	ゲームボーイ	3	柔道着	1
イカダ	1	マンガ本	3	時計	3
ゴーグル	4	ラジオ	1	MD	1
ボール	3				
ラジコン	1				

3.3 川に対する意見評価

川の印象は、「空気がよい。広々としている」「川は生き物を見たり、触れたりできる」とほぼ過半数の子供は、川は自然との触れ合いを実感できる場所と答えている。

この川との触れ合い体験に関する3つの意見に対する子供の反応は、「川は生き物の生態が学べる」が勉強になると評価している。

また、「川は危険な場所」と認識しつつ、散策をしたり、生き物と出会える楽しい場所と評価し60%弱の子供が「川には何回も行きたい」と言っている。

今回の調査対象者の約8割の子供は、川は危険に満ちているが自然の営みを理解するのに役立つので利用したいと考えていることが明らかになった。

従って、川原遊びのための運動公園だけでなく自然公園や野鳥公園、釣り公園などが望まれていると言える。

年齢別に、「何回も行きたい」と答えた子供は小学生層で最も高く、「川は生き物の生態が学べる」は高校生層で高い。

しかし、「川は危険な場所」という認識は中学生層と最も低い。

3.4 楽しかった川遊び

「水泳」「釣り」「キャンプ」は各年齢層で最も楽しい遊びと評価されているが、「ハイキング」は小学生層で特に人気が高い。

即ち、年齢が低い時期は「ハイキング・キャンプ・水泳・釣り」を好み、中学・高校生に「キャンプ・水泳・釣り」が最も楽しい遊びとなっている。

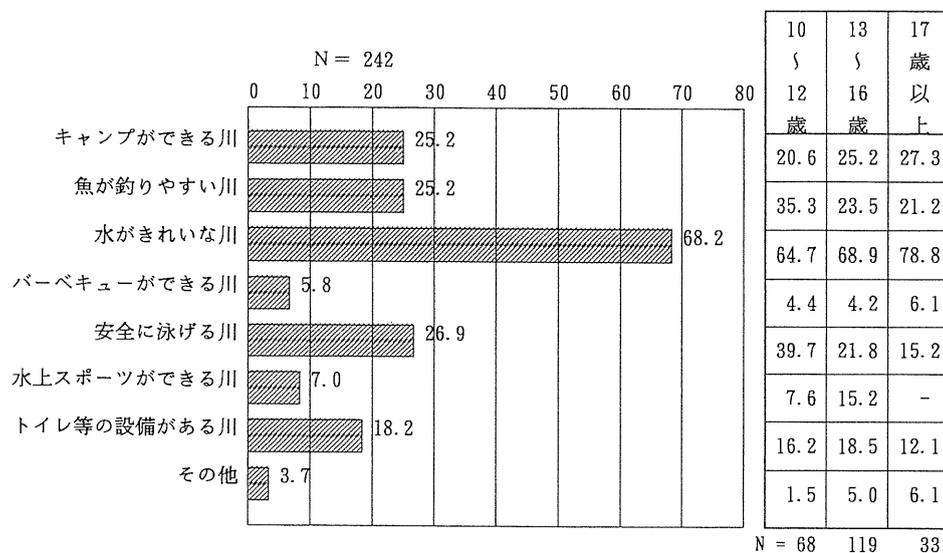
従って、川好きの子供拡大の基本条件は「水泳、釣

り」で、決め手は「ハイキング、キャンプ」と言える。

3.5 今後、行きたい川的环境

子供達が今後行きたいと考えている川的环境は「水がきれいな川」「安全に泳げる川」「キャンプができる川」「魚が釣りやすい川」が最も高く、基本条件の釣り、決め手のキャンプのできる環境整備が強く求められている。

表3・5 どのような川に行きたいか



◆その他の内訳 (回答者数: 7人)

- ・人が少ない川 2
- ・温泉のある川 1
- ・広い川 1
- ・堤防の高い川 1
- ・深い川 1
- ・人工の川 1
- ・カヌーが出来る川 1

表3・6 川で遊びたい遊びの計画



表3・7 携行品

水と楽しむ	回答者	携行品 (人)					
水泳	74	・水着	74	・弁当	4	・ボール	1
		・ゴーグル	31	・着替え	3	・網	1
		・タオル	16	・ゴムボート	2	・救急箱	1
		・サンダル	8	・水筒	2	・酸素ボンベ	1
		・シュノーケル	4	・水中カメラ	1		
		・浮き輪	4	・マット	1		
川下り	8	・ボート	5	・浮き輪	2	・筏	1
カヌー	7	・カヌー	5	・ホル	1		
イカダ作り	5	・ロープ 丸太	4	・浮き輪	1	・ペットボトル	1
肝だめし	2	・脅しの道具	1				
水中バレーボール	1	・ビーチボール	1	・水着	1	・水着	1
水上スキー	1	・水上バイク	1	・免許書	1		

生き物と楽しむ	回答者	携行品 (人)					
釣り	62	・釣り具	62	・帽子	2	・長靴	1
		・エサ	35	・薬	2	・ゴミ袋	1
		・バケツ	31	・懐中電灯	1		
		・タモ	30	・雨具	1		
魚を見る	2	・水中メガネ	2				
魚の掴み取り	1	・バケツ	1				
蟹とり	1	・モリ	1				

川原で遊ぶ	回答者	携行品 (人)					
キャンプファイア	11	・薪	8	・ライター	3	・オイル	1
		・水	6	・新聞紙	2	・出しもの	1
キャンプ	9	・キャンプ用品	4				
バーベキュー	6	・食料	4	・マッチ	3		
		・炭	3	・バーベキューセット	3		
スイカ割り	4	・スイカ	4	・タオル	3	・棒	3
花火	2	・花火	2	・ライター	1	・バケツ	1
サッカー	2	・ボール	2	・ゴールポスト	1		
ドッジール	1	・ボール	1				
キャッチボール	1	・ボール	1				
MTB	1	・MTB	1				

3.6 体を使う川遊びの技術・知識の習得状況

「バードウォッチングの仕方」で顕著である。

(1) 川遊びの技術・知識の習得状況

現在、子供達は川に対して非常に愛着を持ってスポーツや自然観察、散策に利用しているが、技術や知識の習得はスポーツ系の遊びに偏っており、自然観察といった生物学習の分野の知識習得率は低い。

しかし、子供達は、今後は「バードウォッチングの仕方」「魚の飼い方」「植物採集の仕方」など生態学習系の技術・知識を身につけたいと考えている。

また、スポーツ系の「カヌーや筏での遊び方」への関心が高い。

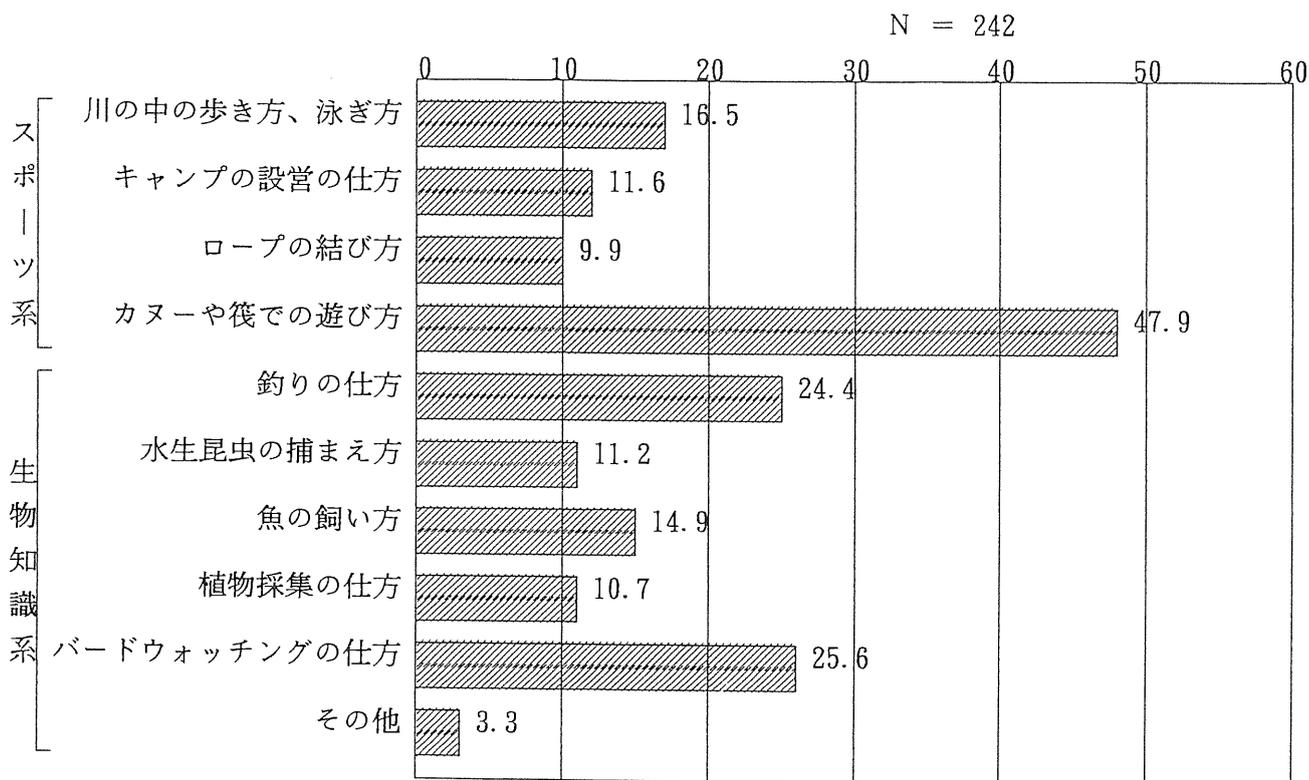
また、小学生層、中学生層ほど遊びへの技術・知識習得意欲は高く、特に「カヌーや筏での遊び方」

(2) ニーズの大きさ

現在の習得率と合わせた到達習得率でみたニーズの大きさは「釣りの仕方」「川の中の歩き方・泳ぎかた」「キャンプの設営の仕方」「カヌーや筏遊びの仕方」が高く、運動公園やキャンプ施設、カヌー施設、釣り公園、水泳場などアウトドアの環境・施設整備が必要と示唆している。

また、「バードウォッチングの仕方」「魚の飼い方」「水生昆虫の捕まえ方」など自然観察など生物学習のニーズも多く20～30%に達し野鳥公園や昆虫公園などの環境・施設整備とともに指導体制の重要性が伺える。

表3・8 今後、したい体をつかう川遊び・知識



3.7 見聞きして知っている川の知識の習得状況

(1) 川の知識の習得状況

体を使ってする川の技術・知識の習得率に比べ見聞知識の習得率は低く、「魚の型・名前」「川の流れ」「川魚、川の産物の味」が目につく程度である。

この傾向は年齢別には変わらないが、「何回も行きたい」という子供ほど見聞知識習得率は高く、また「川は危険な場所」と考えている子供ほど「川の流る変化の見分け方」を知っており、知れば知るほど川の危険性を認識しながら川に接している。

しかし、子供達の見聞知識欲は、日頃、食事のテーブルにのることの少ない川魚の味や名前、薬草など

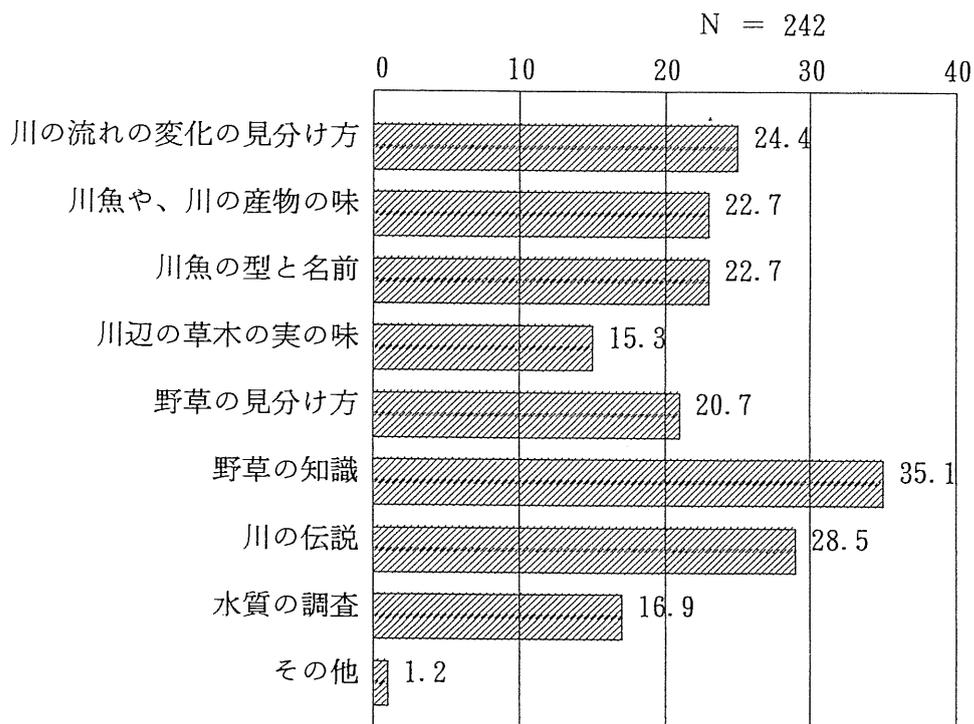
の植物にも関心を寄せ「薬草の知識」「野草の見分け方」「川の流れ」「川魚、川の産物の味」「川魚の型・名前」が顕著である。

(2) ニーズの大きさ

現在の習得率と合わせた到達習得率でみたニーズの大きさは「川魚の名前・型」「川の流れ」「川魚、川の産物の味」「薬草の知識」後に達し、子供達が野草の姿形だけでなく、そのものが持っている味や効能まで知りたいという欲望を持っている。

従って、今後川に接する機会拡大と川の本質理解の為に川と生き物の自然にふれあえるような施設整備が必要と考えられる。

表3・9 今後、見聞きして知りたい川の知識



3.8 川の生き物の認知状況

表3・10 知っている川魚

知っている川魚		頻度
川の上流・清流に住む	アユ	137
	マス	30
	マス	17
	ニジマス	6
	ヒメマス	4
	サクラマス	1
	サツキマス	1
	カワマス	1
	イワナ	27
	アマゴ	25
	ヤマメ	20
ウグイ	7	
川の中流・下流に住む	コイ	49
	コイ	32
	オイカワ	7
	カワムツ	3
	ニゴイ	2
	モロコ	2
	カマツカ	1
	モツゴ	1
	ムギツク	1
	フナ	43
	メダカ	20
	バス	13
	ハゼ	8
	ハゼ	6
	ヨシノボリ	2
	ハヤ	7
	ハヤ	5
	アブラハヤ	2
	カジカ(ゴリ)	7
	ナマズ	6
	ドジョウ	5
	ライギョ	4
	ブルーギル	3
海水・淡水	サケ	18
	サケ	17
	アマノウオ(アマゴ)	1
ウナギ	15	
ボラ	6	
海の魚	ジャコ	17
	アジ	3
	アナゴ	3
	アコウ(アコウガイ)	2
	スズキ	2
	キス	1
	ガッチョ	1
	チヌ	1
ギギ	1	
回答者数	198	

表3・11 知っている水生生物

知っている水生生物		頻度	
水生の虫	アメンボ	46	
	ゲンゴロウ	36	
	ヤゴ	35	
	ミジンコ	12	
	ミズスマシ	2	
	カワムシ	3	
	イトミミズ	3	
	ミドリムシ	2	
	サクムシ	1	
	クロカワムシ	1	
	ポーフラ(カ)	2	
	川辺の虫	カワゲラ	4
		トビケラ	3
		ケラ	1
ツリガネムシ		1	
フナムシ		1	
貝類	タニシ	9	
	カワニナ	4	
	モノアラガイ	2	
アサリ	1		
か・エビ類	カワガニ	14	
	ザリガニ	4	
	サワガニ	2	
	カワエビ	1	
両棲・爬虫	カエル	33	
	サンショウウオ	6	
	イモリ	4	
	カメ	4	
浮遊生物	プランクトン	5	
水生動物	ヒル	5	
	ゴカイ	2	
	プラナリア	1	
回答者数	128		

表3・12 知っている昆虫

知っている昆虫		頻度
トンボ		17
セミ		15
バッタ		14
バッタ	12	
トナリバッタ	2	
カマキリ		13
カブトムシ		11
クワガタ		9
カナブン		1
チョウチョ		1
テントウムシ		1
ホタル		12
カゲロウ		8
カゲロウ	6	
ウスバカゲロウ	2	
カゲロウ		6
アリ		4
コオロギ		3
ハチ		3
クモ		2
アブ		7
ヤブカ		4
ハエ		1
回答者数		86

表3・13 知っている鳥

知っている鳥		頻度
水辺の鳥	カワセミ	56
	サギ	27
	[サギ 13]	
	ゴイサギ	7
	シラサギ	5
	カワサギ	2
	カイツブリ	4
	オシドリ	2
	セキレイ	3
	カワラスズメ	1
渡り鳥	カモ	17
	[カモ 16]	
	カルガモ	1
	ツバメ	8
	ツル	2
ガン	1	
人家の近くに棲む	スズメ	11
	メジロ	9
	カラス	7
	ハト	3
	トンビ	3
	ワシ	3
	タカ	2
	ヒバリ	1
山に棲む鳥	ウグイス	2
	カッコウ	1
	ムラサキトビケラ	1
	ミミズク	1
	トキ	1
	キジバト	1
シジュウカラ	1	
回答者数	105	

表3・14 知っている小動物

知っている小動物		頻度
川辺に棲む	カウソ	15
	ネズミ	8
	[ネズミ 6]	
	カワネズミ	2
	カモノハシ	2
	トカゲ	1
水生動物	ビーバー	9
山に棲む	ムササビ	1
爬虫類	ヘビ	9
回答者数	40	

表3・15 知っている植物

知っている植物		頻度
藻・水草	モ	17
	[モ 7]	
	アオミドロ	3
	ミカツキモ	2
	クロモ	2
	マツモ	2
	バイカモ	1
	コケ	9
	ミズクサ	8
	ヨシ	3
ハクレン	2	
カナダモ	1	
スズメノテッポウ	1	
川原・道端の草	ヨモギ	9
	タンポポ	8
	ススキ	5
	ヨシ	4
	オオイヌノフグリ	4
	ナズナ(ペンツグ)	3
	キノコ	1
	セイカアワダチソウ	1
	クローバー	1
	レンゲソウ	1
ホトケノザ	1	
山草	イワチドリ	1
	ミント	1
木・竹	マツ	4
	ヤナギ	2
	スギ	2
	カヤ	2
	タケ	2
	ササ	1
	イバラ	1
	ヒノキ	1
	カシ	1
	ブナ	1
ボケ	1	
回答者数	64	

3.9 自慢できる川の知識

表3・16 自慢できる川の知識

自慢できる知識		頻度	自慢できる知識		頻度
キャンプ・スポーツ	キャンプの知識	9	川の性質	川の性質	2
	[キャンプの仕方 6]			[・水の性質 1]	
	[ロープの結び方 2]				
	[飯盒炊飯の仕方 1]				
	泳ぎ方	3			
カメラの乗り方	2	水流は急に変わる、注意が必要	2		
川の中の歩き方	1	雨上がりの川は危険	1		
			川に石を投げ、その音で深さがわかる	1	
魚の知識	釣りの仕方	6	共生	魚のいる所では水がきれい	1
	魚の採り方	1		水生生物で分かる水の汚れ具合	1
	見ただけで魚のいる所がわかる	2	その他	川の伝説	1
	川魚の名前と形	3		川の名前	1
	タニシの卵は赤い	1		魚の味	1
			回答者数		33

3.10 川でほしい施設

表3・17 ほしい施設

ほしい施設		頻度	ほしい施設		頻度
保健・衛生管理施設	トイレ	83	遊戯施設	ジャンプ台	6
	ゴミ箱	9		バンジージャンプ台	4
	ポイ捨て管理所	3		小さい滝	2
	手を洗う施設、水道	4		プール	1
	救急用具	2		ループスライダー	5
	[救急箱 1]			貸しボート、イカダ、カヌー	12
[酸素ボンベ 1]		釣り堀り	2		
			ゲームセンター	1	
治安	電話	3	憩いの場	公園	1
	危険などの監視所	1		憩いの砂浜	2
キャンプ施設	バンガロー	13		休憩所	2
	宿泊施設	3		ベンチ	1
	バーベキューセットの貸出	2	販売施設	売店	11
	炊事場	2		自動販売機	9
	ライト	1		釣り具の自動販売機	1
	水飲み場	1		博物館	1
	川の水の浄水施設	1		無料駐車場	1
	シャワー施設	15	回答者数		114
	[シャワー施設 11]				
[脱衣場 3]					
[風呂 1]					

3.11 川での危機体験

表 3・18 危険体験の内容

危険体験の内容	頻度
溺れた・溺れそうになった	31
流された・流されそうになった	18
深みにはまった	8
足がかった	8
水苔で滑って、怪我をした	5
石につまずき、怪我をした	3
川に落ちた	2
蛇がでた	2
足をくじいた	2
回答者数	77

3.12 川に関する手引書への要望事項

表 3・19 川に関する手引書への要望事項

手引書への要望事項		頻度	手引書への要望事項		頻度
危機管理	安全な遊び方	25	スポーツ知識	泳ぎ方	7
	危険な場所の見分け方	25		キャンプの仕方	5
	危険な生物紹介	3		カヌーの遊び方	3
	準備運動の必要性和方法	1		魚の掴み方	1
	川の流れの見分け方	1		川でする遊び紹介	1
	天候と川	3	その他	川の歴史・伝説	10
	天候と川の関わり	1		川のすべて	8
雨後の対応策	1	周辺の施設紹介		4	
天気予報	1	周辺の地図		3	
		魚の料理の方法		2	
川の姿	きれいな川の紹介	6	死亡事故の紹介	1	
	川の美化について	3	回答者数	108	
	川の美しさを表す表	2			
	川の写真	2			
	川の水質について	1			
生き物	魚・植物・動物の種類	16			
	釣りの仕方	12			
	薬草の知識	2			
	生き物の育て方	1			
回答者数		108			

3.13 屋外活動のあり方

河川フィールドにおけるボーイスカウトの屋外活動や学校での屋外教育の状況や課題、今後の方向性などを把握するためインタビュー、あるいは討論会の開催などにより屋外活動のあり方を検討した。

(インタビュー)

- ① 学校教育の現状……芳養小学校，平野教頭(討論会)
- ② ボーイスカウト活動…日本ボーイスカウト和歌山連盟リーダー各位

これらに共通して出てくる課題は次のようなものであった。

(学校教育)

- ① 学校教育の現場では、川で遊ばせることを特に奨励していない。

また、学校が率先して川に子供たちを連れていくことはほとんどない。

- ② 川遊びについては、学校から見ると家庭で考えることとしているのに対し、父母は学校が許可していないからだめであるとする傾向にあり、両者の考え方のギャップがある。
- ③ 昔は川遊びについて大將がいて、近所の兄ちゃんがいしたが、いまはそうのように適切な指導してくれる人が身近に居なくなっていること。

(ボーイスカウト活動)

- ① 子供自身は今も昔も川で遊びたいと考えているが、川の汚れや環境の悪化により、子供が安心して川で遊べない状況にある。
- ② キャンプ活動などによる河川や周辺の環境悪化について、近隣住民が懸念を抱いていることや、あるいは実力阻止によりキャンパー排除に乗り出している地区もあり、キャンパー客と地元民との意識のくい違いが明確になってきている。
- ③ イカダ下りなどで事故が発生した場合、原因者追求の姿勢が強いことから、自然の中で遊ぶことのリスクを認識しないまま、遊びに参加する安易な考え方が問題を引き起こしているともいえる。これらの課題を踏まえ、今後どうあるべきか模索が続いている。

(学校教育)

- ① 学校にプールがあってもやはり川を利用した河川プールなどを再開しようとする学校があること。
- ② ハエヤカは嫌いであっても、自然の一部として

とらえることによって自然を残す方向で河川を考える時期に来ている。

- ③ 川が美しくなっていること、使いやすい状態になっていることなどが望まれている。

(ボーイスカウト活動)

- ① 川の安全についてどんな指導が必要かを考える時期に来ている。川というのは楽しい面ばかりでなく、こわい面もあることを充分認識する必要がある。
- ② 川遊びができないのは大人が子供から川を取り上げてしまっているため、川遊びにあたっては大人(リーダー)が川底の状態を調べたり、紐をつけた浮袋を持って水泳中監視するなどの努力をしたうえで、川との関係を考える必要がある。
- ③ 川を好きになるイベントや運動を喚起する必要がある。

4. 川遊びの方向性の考察

川遊び、川学習を今後、和歌山の河川・水辺でどのように展開していくかについては、基本的な方向性を見定めておく必要がある。

ここでは、大きく精神的な柱を立て、それらに沿って方針を展開していくものとする。

(1) センス オブ ワンダー

レーチェル・カーソンがその著書のなかで発表した概念で、自然の神秘や不思議さに目をみはる感性を指す言葉である。その根底には、私たちのすんでいる地球は自分たち人間のものだけではないというメッセージがある²⁾。

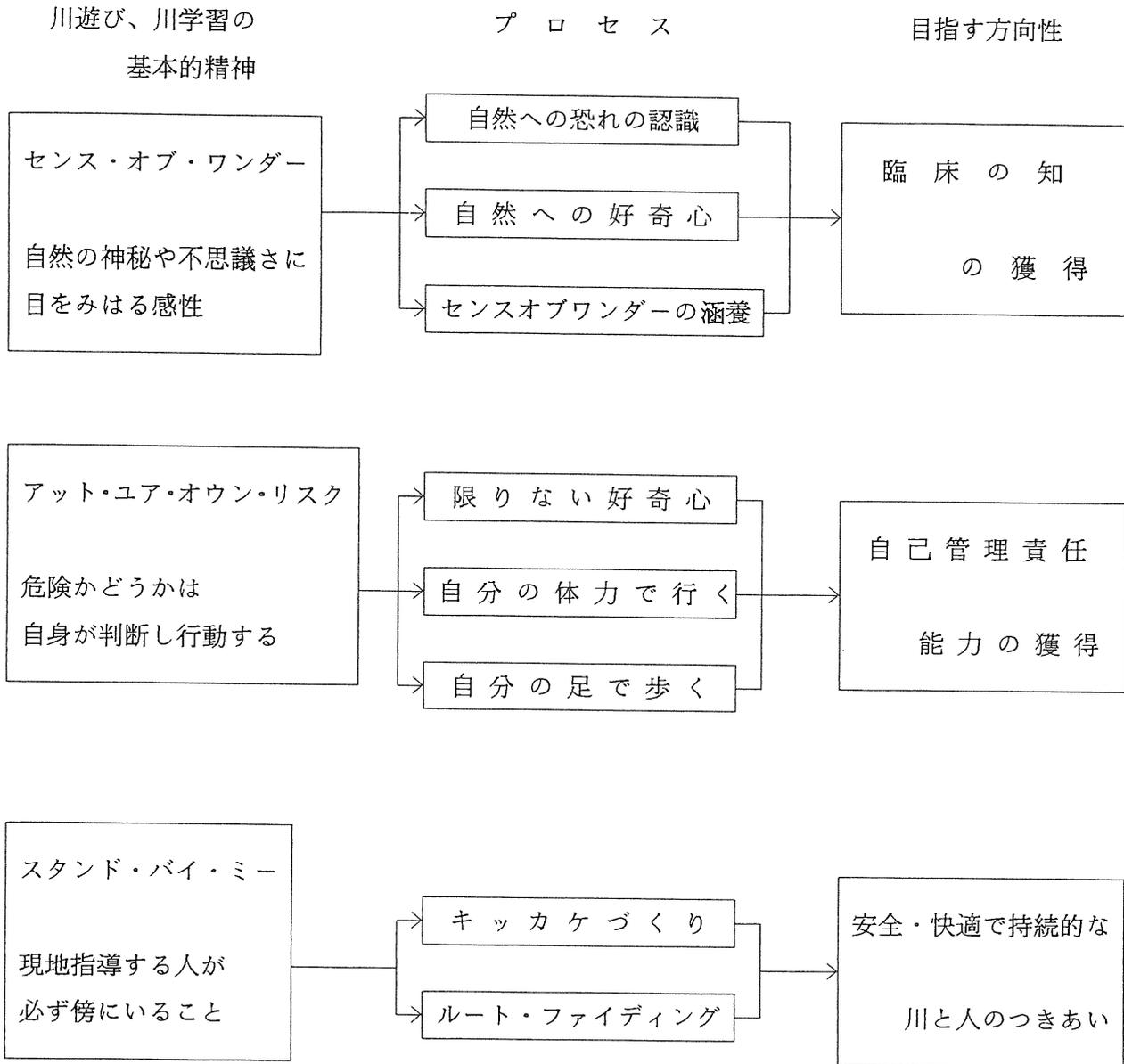
① 心の中に潜む自然への恐れ

生の自然について完全に熟知している人は、まずいないといってよい。その知らない部分に恐れが存在していると考えれば分かりやすい。自然についても、生き物たちの生態系や、川の水の動きなどについて完全な知識をもっていないことを考えあわせれば、洪水のときの水の力や淵での深みの怖さなど、あるいは水辺の穴のなかにどんな生物が潜んでいるかといったことについても、何が起きるかわからない自然に対して、人間は恐れ感情から自由になっていないことを素直に認めることからスタートせざるを得ない。

② 自然への恐れを克服する好奇心³⁾

桑原武雄「登山の文化史」のなかでは、人間の生活が豊かになってきて、ゆとりができ、自然に

表4・1 川遊び、川学習の方向性



対する好奇心を持つようになった、この好奇心は人間の生活に直接には役にたたないし、一種のぜいたくであるとさえいっている。近代の文化、知的なものの所産である好奇心や知性が自然を克服していくことを前提とするなら、自然への恐れを克服するものはまず、人々の好奇心であり、それを支える技術的なサポート体制であるといえよう。

③ センス オブ ワンダーの涵養

センス オブ ワンダーの精神²⁾については、人々の心に潜む自然への畏敬の念をふまえながら、川遊びに関する活動をとおして以下の観点から、豊

かに涵養していく必要がある。

- a) 自然の怖さを感じとり、自然の神秘や不思議さに目をみはる感性を育てる。
- b) 自然を探検し、頭と体の五感で自然をとらえる。
- c) 美しいものを美しいと感じる感覚を養うことにより、自然を守ることの大事さや自然に関する知識を豊かにする。

④ 臨床の知⁴⁾

では、センス オブ ワンダーをどこでどのように育めばよいのか、室内のデスクの上やコンピュー

ターの中だけではない、空気のよい自然の中の水と緑や生き物などとのふれあう現場（臨床）で涵養される知性、あるいは獲得する知恵や知識が重要である。

- a) 自然の現場は一人ひとりの子供と大人が生きる力を育む基盤であること。
- b) そこでは、人間の身体とすべての感覚を揺り動かす生活体験を得ることができること。
- c) 自然やひととかかわる直接的なプロセスが大事なことであり、それらの体験をとおして獲得される自然と人の共存関係、生き物どうしの共生関係の知恵や知識を自分たちの生活に取り込むことができること。

(2) アット ユア オウン リスク

限りない好奇心をもって自然を知りたいとおもうとき、それは自然の探検者であるともいえる状態に近い。そのときは自分の体力で、自分の足で歩く、次にはいくら時間がかかってもかまわないから行く、最後に大事なものは自分の命をかけてでもという覚悟が必要になる。

アット ユア オウン リスクというのは“危険かどうかはあなたが判断することだ”ということであり、余暇活動が自分による、自分のための、自分のものとなるためには、自分がリスクを負うことがあたりまえであるとの自己管理責任を明確にすることが必要である。

(3) スタンド バイ ミー、スタンド バイ ユー、スタンド バイ ザ リバー

川遊びのインタビューにあたって次のような話をうかがった。

昔は大将がいて、近所のお兄ちゃんがいて、川だったら深いところから向こう岸は浅くなっている。こちらは岩場だから深みになっている。5mぐらいだからすぐに行けると言われたが、こちらは小学校1年生ぐらいでこわくて行けなかったんですが、2人のお兄ちゃんが僕がついてやるからということで、左右についてもらって川の真ん中あたりまで行ったときにふっと顔を水につけた時に、川の水の底の深いのが見えてびっくりして、となりのお兄ちゃんにしがみついたら、そのお兄ちゃんがびっくりしてアップアップしながら必死になって、私も途中で気が付いてやっと肩をもってやっと向こうへ渡らせてもらった。今思うと怖

かったけれど。

そのときに、「おまえあんなにびっくりすることはない、川というのはこっちは深いけれども必ず向こうは浅いから、ほっといてもだんだん流れて行くから、びくびくしんといたらいいんや」と教えてもらった。そういう現地指導をしてくれた。今、行く前に教えてくれる人もいないし、まず行く人もいない。

このような人と川のつきあいがスタンド バイ ミーの精神であり、今後またとりもどすべき精神である。

① ルートファインディング

川遊びにあたっては、そのフィールドとなる自然の現場において、遊び方の道を見つけることが必要となる。リーダーは活動や遊びのテーマを決め、どんな道具を使い、どのような活動をおこなうか、そのためにはどんな準備や環境整備が必要かなど、また終わったあとには次の人達のことを配慮しているかなど、遊びの道筋をつけることを本論ではルート ファインディング³⁾のひとつとして位置づけたい。

② キッカケづくり

- a) まず、こどもたちの川遊び活動を引き出すためのキッカケづくりが必要である。
- b) つぎに、川遊びにうといため、こどもたちの川遊びに消極的なおとなの参加を導くキッカケづくりが必要である。
- c) こどもの生活や遊びの文化の中に自然の驚きを伝えるキッカケづくりが必要である。

5. 遊び文化の川づくりのイメージ検討

5.1 川遊びのイメージ調査

県下における川遊びについて住民や子供達がどのようなイメージを持っているか、民話や語り伝え、あるいは水辺レクリエーション活動、教育現場での動向などについて、ヒアリングを始めとして既存文献等資料により収集整理を行い、和歌山の川遊びの全体イメージを把握する。

(1) 民話や語り伝えによるイメージの把握

県下中辺路町に伝わるカップ伝説「ゴウラボウシ」については1人で川に行くことのみましがカップ伝説となって伝わっている³⁾。

また、富田川の「おおうなぎ」という民話が「あゆかわの民話」(1989)という文献に残されている。

今は天然記念物となって捕獲することのできないオオウナギにまつわる寓話で、昔の村民がオオウナギを見せ物にして和歌山市まで商売に行く話であるが、人々にとって本当の幸せとは何か、オオウナギにとって本当の幸せとは何かというテーマが面白くも悲しい話として表現されている⁶⁾。

これらは自然に相対する和歌山の人々が、自然を甘く見たり、もて遊んだりすることの危険性や恐さをソフトな形で伝承したものであり、現代においても活用しながら、残すべき和歌山の文化の一端である。

(2) 教育現場「生活科」の活動によるイメージの把握⁷⁾

① 生活科の定義とねらい

身近な社会や自然を学習の場や対象とした「身近な環境の学習」をすすめるのが生活科である。

そのねらいとしては、身近な環境に積極的に働き掛けることのできる子供の育成がゴールである。

② 積極的にの活動のねらい

自分を取り巻く自然を自分自身の環境として感じ取ることからスタートし、身近な自然に直に触れる活動を通して、友達と進んでかかわりながら、お互いを人的（社会的）環境として実感する。

その結果、子どもたちの主体性や思考力や創造性が育つことや人格形成上重要な体験を積むことによって人とかかわりを深めることができるようになる。

③ 活動の成果

- a. 遊ぶことを通して環境へのかかわりを深めることができた。
- b. 自分なりに興味を持てる遊びを見つけることができた。
- c. 遊びの中で自分が認められることで、子ども同志の協調性が育った。
- d. 自然の中で思う存分遊べたこと、伸び伸び遊ぶことを知った。
- e. 遊びを通して自然の事物・事象に興味や関心を持つようになった。
- f. 自然のものを使って創意・工夫することができるようになった。

④ 留意点

活動前は身近に豊かな自然環境があってもそれに目を向けることは少なかったという実態は地域差があまりないと考えられることから、「あれども見えず」の存在になっている身近な環境へ目を

向け、意欲的に関わっていく態度を育てることが重要となっている。

(3) 自然から学ぶ環境問題

兵庫県豊岡市立八条小学校長による「鳥でも虫でも何でもいから子供たちが自然に興味を持てば、道端に投げ捨ててある空き缶公害に気付く」とする方針により、環境教育をテーマにした実践がすすめられていることが毎日新聞(1996.3.3)で紹介されている⁸⁾。

近くを流れる円山川からアオサギやカモが飛来する恵まれた環境を生かし、メジロ、シジュウカラなど小鳥も寄りつくように整備した「えがおの庭」と呼ばれる雑木林ふうの観察園の整備をはじめとして、幅広く環境問題までのテーマを含む教育活動を行っている。

教室の授業では分からないことを体験的に学べ、生徒と教師のふれあいが増えることなどのメリットが大きく、休日土曜日の活用法としても自由参加型の環境教育の推進が父母からも待望されている。

(4) 水辺の遊びの時代変遷⁹⁾

滋賀県の琵琶湖の水辺をフィールドとした3世代にわたるアンケート調査で水辺の生物や遊びに関する時代的な変遷の状況を把握している。

① 淡水生物相

淡水生物相では、メダカ、アユなどは増減の度が少なく、コイ、オイカワ、カワムツ、タナゴ、ドジョウ類、ハリヨなどは減少傾向にあり、アメリカザリガニ、ブルーギルなど外来種は増加傾向となっている。

a) 減少した種類は、川底付近の穴や深みに住むものや、流れが比較的速い砂礫底を好むものである。

b) 増加した種類は、浅くて流れの緩い泥底の流路を好むものと考えられる。

この結果から、河川や湖沼の水底の状況が瀬や淵や深みなどの、凸凹の変化が乏しくなってきたことや、清流を育む砂礫底などが減少してきていることが伺える。

② 水辺の遊び

a) 子供達にとって魅力的な水遊びとしての「うろつかみ」や「かいどり」などの生き物つかみが河川の形態や水質の状況が変化することによって、だんだん不可能になってきており、世代間の遊び方の伝承が困難になりつつある。

b) これらの生き物つかみという遊び方がすたれてくるにつれ、生き物との手や足での直接的な接触が減り、釣りなどの間接的な接触が増えている。

c) それに伴って生き物つかみの「おもしろさ」と「こわいこと」「しかられること」のような多様な関係性が近年弱まった。

d) また、「しかられたこと」の経験がだんだん少なくなってきたおり、特に誰からかという点で「地域の人」「田んぼの管理者」など、多様な他人からしかられることが少なくなっており、遊びによって社会的な多様な側面にふれることが減っている。

e) 「おもしろいこと」については、近年水生生物の生存量や種類が減っていても世代間でそれほどの変化はないことから、多くの子供たちが水生生物の捕獲の面白さを感じていることは、おおむね普遍の原則であることがわかった。

注) うろつかみ…石垣や土手などにできる穴を「うろ」と呼び、そこに隠れている魚を手づ

かみする遊びで、スリルがあり感觸的におもしろい捕獲方法である。

かいどり……「かいぼし」、「せき止め」ともいわれ、田んぼ脇の水路などで水をせき止めた後、迂回水路をつくりせき止めた水路の水をバケツなどでかいたし、干上がったところの魚を手づかみする捕獲方法である。

5.2 川遊びのルール・マナーづくり

川遊びにあたっては、自然のもつ営力あるいは人為的な問題点などから発生する災害や事故と無縁ではないため、川遊びにおける危機管理のための注意点やルールづくりが必要となるほか、アウトドア活動における環境に影響を及ぼさないマナーの徹底などを情報や技術として周知させることが重要である。

ここでは、マナーの徹底とルールづくりのためのテーマを次の5つとし、方針の設定とそれを裏付ける具体的なアイディづくりを検討した。

表5・1 マナーの徹底とルールづくり

① 生き物を大事にすること 魚類、鳥類、植生、昆虫などの生息、生育空間をよく知り、生物そのものを傷めないふれあい方をする。
② 自然を大事にすること。 水や大気、土壌など無機的自然を傷めないよう活用する。
③ 地域を大事にすること 地域の風土や文化をよく知り、産業や生活を豊かにするため、地元の人々と広域の河川利用者が協力しながら、持続的に川遊びができる方法を考える。
④ 人を大事にすること 心身の健康を保ち、ケガをしないような快適アウトドア活動ができるよう、また高齢者から幼児まで世代を越えて活動のできる川遊び空間を創造する。
⑤ 物を大事にすること 水や土、緑などを資源としてとらえ、これらの自然の恵みを傷めない活動の仕方、余分な物を浪費して、いたずらに環境を汚さない知恵を身につける。

5.3 川遊びの適地づくり

川遊びの適地としてのイメージ抽出を行い、有田、日高、古座各河川のモデル地区の選定を行った。

川遊び、川学習の適地の選定条件はおおまかに次の図のようなものであると考えられる。

参考文献

- 1) 田中治 (1995) : ボーイスカウトー20世紀青少年活動の原型
- 2) レーチェル・カーソン (1962) : 沈黙の春, セン

ス・オブ・ワンダー

- 3) 樋口敬二他 (1995) : ひととはなぜ自然を求めるのか
- 4) 松下義一他 : 子どもとつくる環境教育ハンドブック (1992)
- 5) 叻河川情報センター (1966) : さらさ'96冬号
- 6) 鮎川小学校PTA文化部 (1989) : あゆかわの民話
- 7) 文部省 (1995) : 環境教育指導資料
- 8) 毎日新聞 (1996.3.3) : 教育ここが気になる
- 9) 遊磨正秀他 (1995) : 水辺の生物相と遊びの時代変遷ー3世代アンケート調査からー

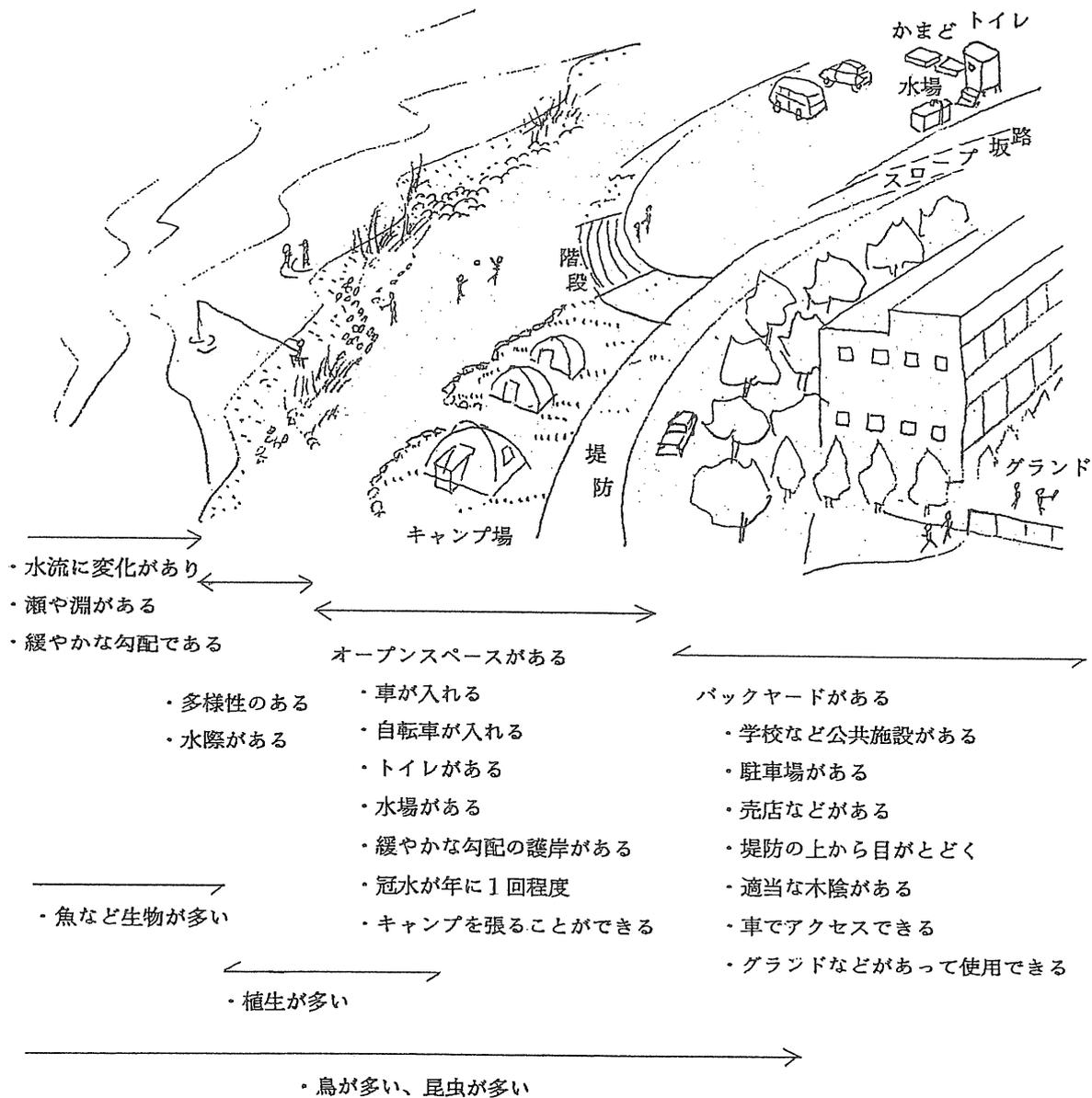


図5・1 川遊びの適地イメージ

飛鳥川を例とした歴史景観を活かした川づくり

芦田 和男*・吉田 延男**・金剛 一智***
安宅 貴生****・荒川 英誠*****

1. 川づくりの目的

まず始めに一般的な川づくりの目標について触れる。川づくりに期待される要素としては、①安全であること、②きれいな水を十分供給してくれること、③美しい景観をつくりだしていること、④親水・レクリエーションの場を提供してくれること、⑤水を中心として育まれてきた文化を継承発展させること、⑥生態系豊かであること、が挙げられる。一方、個々の河川はそれぞれに個性を持っている。すなわち個性とは、河川をとりまく自然的特性（河道特性、土砂生産・輸送能力、水文特性、生態系の存在形態）、及び地域によって異なる人との係わり方（流域の開発、治水利水、親水、つくりだされる景観、水に係わる文化）である。これら個性を見極め、上記の河川に期待される項目を上手く調和させることが重要であり、そのことが川づくりの目標となるものである。

さて、今回対象とする飛鳥川は、流路延長24km、流域面積41km²であり、奈良県明日香村栢森を源流とし、明日香村、橿原市、田原本町を経て、三宅町にて大和川に注ぐ一級河川である。

奈良県では、平成6年3月に「やすらぎとロマンの水辺景観整備計画」を策定しており、県内河川の水辺景観整備を行うにあたり、奈良県ならではの歴史景観特性・自然景観特性を活かした河川整備の基本的考え方を示している。その中で、明日香村内の飛鳥川は、周辺に石舞台古墳・水落遺跡・橘寺跡など重要かつ著名な史跡・文化財が数多く存在し、歴史景観区間として位置づけられており、県の河川整備計画においてもシンボリック空間として整備を行う方針である。

ここでは、前述の川づくりの目標を満足させるため川の個性特に歴史性を基軸とした上で、明日香村内飛

鳥川について、河道特性、周辺の史跡文化財、川にまつわるエピソードを有する歴史的地物、河川周辺の景観特性などに配慮した河道整備（川づくり）を検討するものである。またよりよい飛鳥川を再生・創造、維持（川まもり）していくための河川管理者と地元住民との係わりについても提案を行う。

2. 万葉集に見る飛鳥川

飛鳥とは、現在の奈良県明日香村一帯を指し、仏教が伝来し、蘇我・物部両豪族の勢力争いが盛んであった6世紀中頃から歴史の表舞台となった。蘇我氏が物部氏を討ち滅ぼし推古天皇の皇居がおかれた西暦600年頃から奈良市内の平城京に遷都される西暦710年まで飛鳥文化の花開いた地域である。

万葉集はその成立時期、編者等不明な点が多いが当時の飛鳥人の生活を偲ぶことができる。

寺尾¹⁾は「飛鳥歴史散歩」の中で万葉集に詠まれた飛鳥川(明日香川)の歌を取り上げ飛鳥人の心象や飛鳥川の原因風景といったものを語っている。さらに飛鳥川は当時の人々にとって生活の一部であったと述べている。

確かにこれらの歌から当時の飛鳥川の状況や川と人との係わりについてある程度推察することができる。これらは現在の川づくりについても参考になるであろう。

そこで著者らはこれらの歌から当時の飛鳥川の形態や水環境さらには人々と川とのかかわりについて推察してみよう。

万葉集の中に飛鳥川(明日香川)を歌っているものは25首あり、そのうち2首は別の大阪の飛鳥川と推測されている。23首の内そのいくつかを挙げて当時

* 芦田 和男 (財)河川環境管理財団 大阪研究所長
** 吉田 延男 奈良県 土木部河川課 課長
*** 金剛 一智 奈良県 土木部河川課企画係 主査
**** 安宅 貴生 (財)河川環境管理財団 大阪研究所 主任研究員
***** 荒川 英誠 (株)ニュージェック 河川・海岸部 (前 (財)河川環境管理財団 大阪研究所 研究員)

の飛鳥川について考えていくが、総じて当時の飛鳥川は、寺尾が述べるように生活の場としての川であり、瀬・淵といった河床形態に富んだ川であったことが伺える。

<飛鳥人の生活が読みとれる歌>

- ・明日香川しがらみ渡し塞（せ）かませば流るる水も長閑（のどか）にかあらし

「しがらみ渡し」とは水中に柵を設けて塵などを堰き止める意味であり、当時都として繁栄し、生活によるゴミなどへの対策を講じていたと考えられる。

- ・明日香川深瀬（せせ）に玉藻[＊]は生いたれどしがらみあれば靡きあはなく
- ・明日香川瀬々の玉藻の内靡き情（こころ）は妹に寄りにけるかも

玉藻は川藻の別称であるが、23首の内5首に見られ、当時の飛鳥川ではよく見られたものようである。このことから飛鳥川周辺で人々の生活が活発であり富栄養化が進んでいたことがわかる。

<流れの様子が読みとれる歌>

- ・しましくも行きてみてしか神名火（かんなび）[＊]の淵は浅（あせ）にて瀬にかなるらむ
- ・年月もいまだ経なくに明日香川瀬々ゆ渡しし石橋もなし

上記2首は明日香川の流れに託し無常観を詠んだものようであるが、淵が瀬となり、石橋（写真2・1）が流されるなど出水後の状況が読みとれる。



写真2・1

- ・明日香川七瀬の淀に住む鳥も心あれこそ波立てざらめ
 - ・絶えず行く明日香の川の淀めらば故しもある如人の見まくに
 - ・明日香川行く瀬を早み早けむと待つらむ妹をこの日暮しつ
- この3首は、人の噂への恐れや恋のいらだちを歌っ

たものであるが、瀬・淀という言葉に見られるような河床形態が多様であったことがわかる。また「絶えず行く」という言葉から流量は豊かであったことが想像される。

<当時の人々の明日香川へのおもいが読みとれる歌>

- ・明日香川かはとを清みおくれるて恋ふれば都いや遠ぞきぬ
- ・君に因り言の繁きを故郷の明日香の河に禊（みそぎ）[＊]しに行く

上の歌は明日香川の清らかな流れに心ひかれ遷都した奈良の都に行きそびれてしまったことを詠んだものであり、下の歌では恋の禊ぎに明日香川を利用するなど、古代の人々にとっても明日香川が心に深く刻み込まれていたことがわかる。

万葉集に詠まれた飛鳥川の中でも「瀬」というキーワードは23首中10首に見られる。飛鳥人においても流れの変化を視覚や聴覚で感じることでできる瀬の存在は、世の無常、時の流れなど様々な思いを抱かせるものであり、逆に川の流れの変化が存在しなければ川自体に愛着を感じることもなかったであろう。現代の川づくりにおいても河床形態の多様化は生態系の保全、美しい河川景観の要因として望まれている。瀬があり淵がある河川形態が人間に何かを感じさせるものであることは普遍の事実であることが分かる。

<古代の自然保護>

- ・南淵山と細川山とを禁めて、竝（ならび）に芻（くさかり）薪（きこる）ことをなからしむ
- 上記は万葉集ではないが、飛鳥時代この地域に多く居住していた帰化人が飛鳥川上流の山林を乱伐し、洪水が頻発したため、それを禁止するために天武天皇が出した詔であり、古代の自然保護条例である。時として飛鳥川が暴れたこと、治水のために治山が大切なことを認識していたことが分かる。

3. 飛鳥川の現況

ここでは飛鳥川の河道特性、周辺の社会状況・景観・歴史環境の観点から調査し、また住民アンケート結果から人々の印象を分析することにより、現況での問題点、配慮すべき点を明確にする。

3.1 河道特性から見た飛鳥川

明日香村内の飛鳥川の一般的な諸元は、表3・1に示す。

表 3・1 明日香村内の飛鳥川河道諸元

流域面積	16km ²	村面積の内約67%
流路延長	10km	
平均河床勾配	1/80	
川幅（河床幅）	8～25m（5～18m）	
計画高水流量(1/10)	115m ³ /s	村内下流端田中橋地点

治水面については、明日香村下流の飛鳥川が1/10で整備が進行中であることから、当面村内の治水目標を1/10とする。飛鳥川の流下能力チェック及び1/10の浸水予想区域を調査したところ、現況河道において大きな被害は生じない。浸水の恐れのある区域は主に水田地域であり、宅地等の浸水予想箇所については、下流の整備の進捗状況に合わせ、若干の堤防の高上げ又は河床掘削によって対処していくものとした。

また、明日香村内の飛鳥川の水質は環境基準でAランクに指定されており、これを満たしている。水質に関しては概ね良好な河川である。水量の確保は飛鳥川の景観形成上重要な課題であるが、現況では灌漑用水として利用されるため夏期に水量が全く無くなる区間が存在し、何らかの対策を講じる必要がある。

3.2 周辺社会状況から見た飛鳥川

明日香村の土地利用状況は、農地が21.3%、山林その他が75.2%、宅地が3.4%であり、飛鳥川流域もほぼ同様である。宅地は下流部の平地部に集中しており、他に上流の栢森に集落が存在する。農地は下流部の他、河川沿いの狭い平地部に存在する。

人口は、昭和45年には6,573人であったが平成2年の調査では7,363人と徐々に増加する傾向にある。また、65歳以上の年齢構成比は、16.9%と奈良県の11.6%に比べて大きく高齢化がやや進んでいるといえる。

明日香村においては、第2次明日香村総合計画（昭63年）においても基本理念として「歴史的風土の保全と活用」、「村民福祉の向上」、「自前産業の創造」を掲げており、歴史的風土・文化財の保全が前面に出されている。その他歴史的風土を守るため各種の土地利用規制が敷かれているため、急激に土地利用形態が変わることは無いと考えられ、また人口の急増も無いといえる。

これらのことから、現状の土地利用形態とマッチした、また万葉の里と称される歴史的風土を活かした川づくりを行うことが目標とされる。

3.3 景勝性から見た飛鳥川

景勝性については、3人の調査人が各々表3・2のようなチェックリストを携え対象区間の主な視点場から景観性の評価を行い、3者とも良い景観と判断した箇所を非常によい景観とし、逆に皆が悪いと判断した箇所を非常に悪い景観とした。

表 3・2 景勝性チェックリスト

視点	景勝性	備考
視点1	a b c	
2	a b c	
3	a b c	

評価結果からみて、景勝性が悪いと判断されたものは、コンクリート護岸や人工の河川構造物が目立つ場合（写真3・1）、ヒューム管などが川に突き出している場合、ゴミが落ちている場合であり、逆に良いと判断するのは、川の流れが変化に富んだ地点、周辺の風景と調和した地点であった。

また、河川の景観ではないが、沿川の特筆すべき景観として、中流部の棚田景観が挙げられる（写真3・2）。この棚田景観は万葉の里、日本人の心のふるさとと称される飛鳥川の昔日の風景がいまだ残される区間であり、訪れた人々にほっとした安心感を与えるに違いない景観である。河川景観の良し悪しは、河川背後の景観に左右されるため、棚田のような背後地の景観保全を行うことも重要である。

川づくり際には、悪いと判断される要因を排除あるいは目立たなくさせる工夫や、今後整備を行う区間においては、河道に変化を付けること、周辺の景観と調和させることが要求される。



写真 3・1



写真 3-2

3.4 歴史環境から見た飛鳥川

明日香村には石舞台古墳^(*)、橘寺^(*)、水落遺跡^(*)など多くの歴史的遺産が存在するほか、万葉集に歌われる石橋が現存するなど、現代の人々がここを訪れて、遠く飛鳥人の時代に思いを馳せることのできる絶好の場である。

飛鳥川およびその周辺の歴史的地物を図 3-1 に示す。川づくりにおいては、これらの地物を活用・ネットワークさせ、万葉の里を満喫できる飛鳥川を計画する。

3.5 アンケート結果に見る飛鳥川

奈良県下の河川について行われたアンケートの内、飛鳥川沿川の住民に対して行われた結果から、地元住民の河川に対するイメージ・要望を調査する。アンケート調査項目は、①現在抱えている飛鳥川のイメージ、②河川の利用実態、③河川や河川敷でしてみたいことであり、同様のアンケートを行った吉野川とともに調査結果を図 3-2 に示す。

アンケート結果によると、流域住民にとって飛鳥川のイメージはいくらかの自然は残っている(40%)が汚れた川であり(50%)、水害に対する意見は安全(20%)と危険(20%)の2つに分かれているがそれほど関心は大きくないといえる。飛鳥川の水質自体は環境基準のAランクを満足しており、汚れた川のイメージはゴミの投棄が原因と考えられる。

また、②・③の河川の利用実態・要望については、散策・自然観察が比較的大きなウェイトを占めており、キャンプやスポーツと言った短期間での利用ではなく、1年を通した日常の中で気楽にふれあえる川を期待していることが分かる。さらに飛鳥川と同様に万葉集によく現れる吉野川に対して、伝統行事を望む声小さ

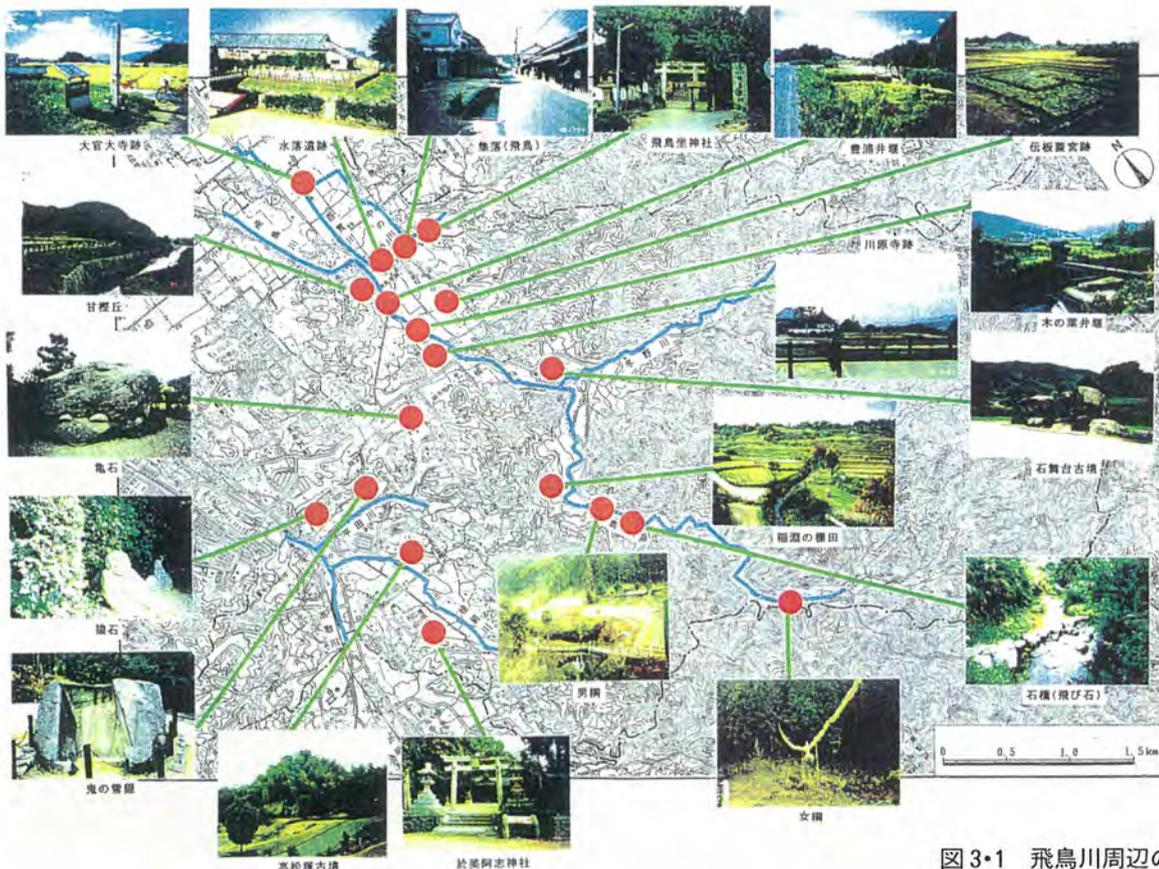
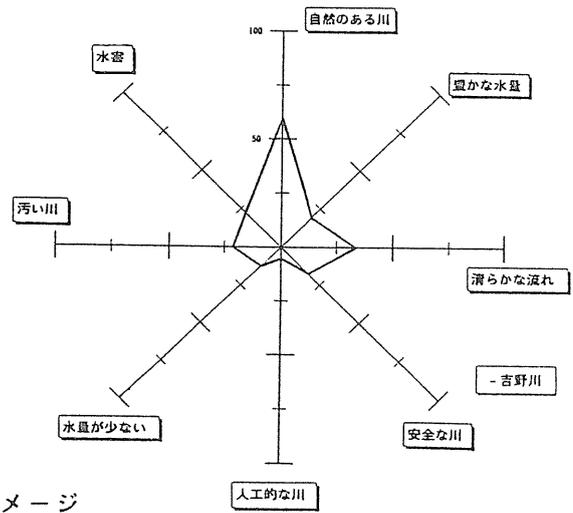
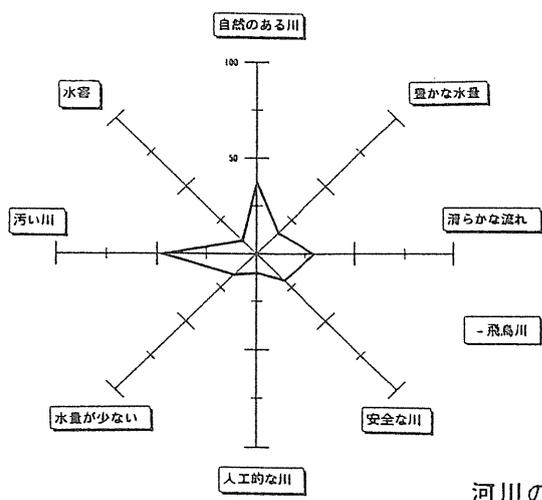
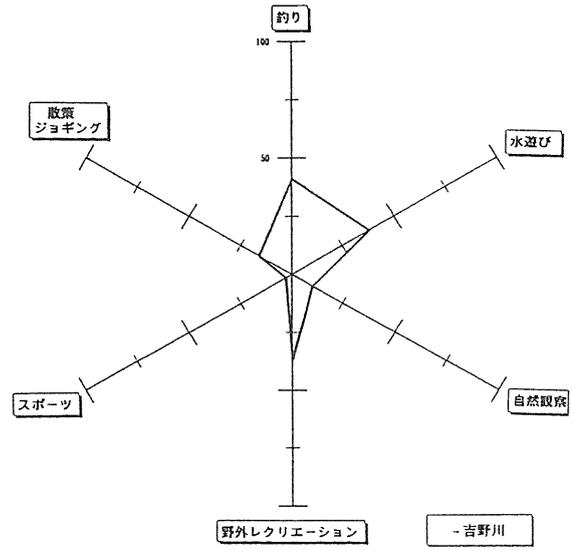
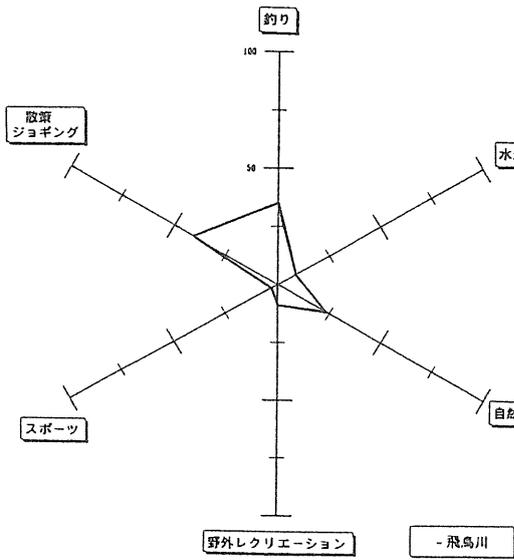


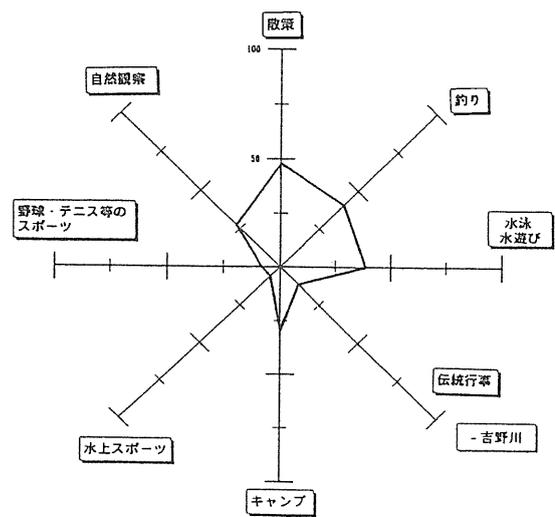
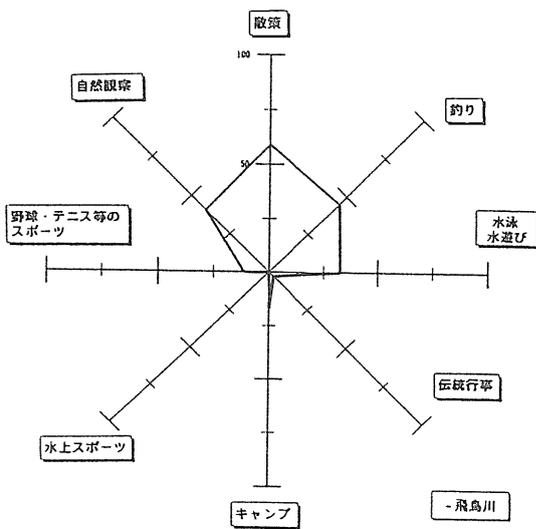
図 3-1 飛鳥川周辺の歴史的地物



河川のイメージ



河川の利用実態



河川や河川敷でしてみたいこと

図3・2 アンケート調査結果

く、飛鳥川にかかわる伝統行事が失われつつあるのではないかと考えられる。

川づくりにおいては、治水に対する安全度はある程度確保（明日香村より下流の計画 1/10に沿ったもの）することを前提とし、その上で人々が身近につき合える川・自然をできるだけ残した川づくりを目標とする。

4. 川づくりに関連する諸計画

今回の飛鳥川川づくり（飛鳥川歴史景観区間整備計画）は、奈良県下河川の基本構想をまとめた「やすらぎとロマンの水辺期間整備計画」のうちの個別河川版の第一段である。

「やすらぎとロマン計画」の掲げる4つの基本方針（①歴史的景観を伝え活かす水辺づくり、②豊かで魅力ある自然特性を守り活かす水辺づくり、③人々が集い賑わう水辺づくり、④地域のシンボルとなる生き生きとした水辺づくり）のもと、本計画を策定して行くが、その他図4・1に示す5つの計画が関わり合う。

図中アーバンオアシス21協議会は明日香村の既存協議会であり、村内河川の自然環境の保全と活用を図

り、人々に親しめる清流河川の実現を目的としたものであり、これまでに明日香っ子大集合と題した子供を水辺に親しませる企画やアユ・アマゴの放流、全村挙げてのクリーンキャンペーンの実施などを行っている。広域自転車道計画は、明日香村より飛鳥川に沿って北上し、大和川合流点に至るもので、河川サイドとしては河川沿いに休憩所や案内板の設置が望まれる。

清流ルネッサンス21は、一級河川大和川水系に対し行われている河川浄化を目的とした事業であり、飛鳥川流域においても公共下水道の整備を進める他、上記したアーバンオアシス協議会と連携した対策を推進していく必要がある。

奈良県都市景観形成ガイドラインは、県の優れた文化遺産・歴史的風土を活かし快適な町づくりの指針として策定されたもので、村内を大和青垣の保全地域・山の辺の景観形成地域に区分している。また、計画の他に明日香村の歴史資源をめぐる周遊歩道が既に設定されており、村を訪れる人々にとって代表的な観光ルートとなっている。既存ルートを活用した上で、飛鳥川から離れる区間においては、川沿いのルートを新設し、親水性を高めることが考えられる。

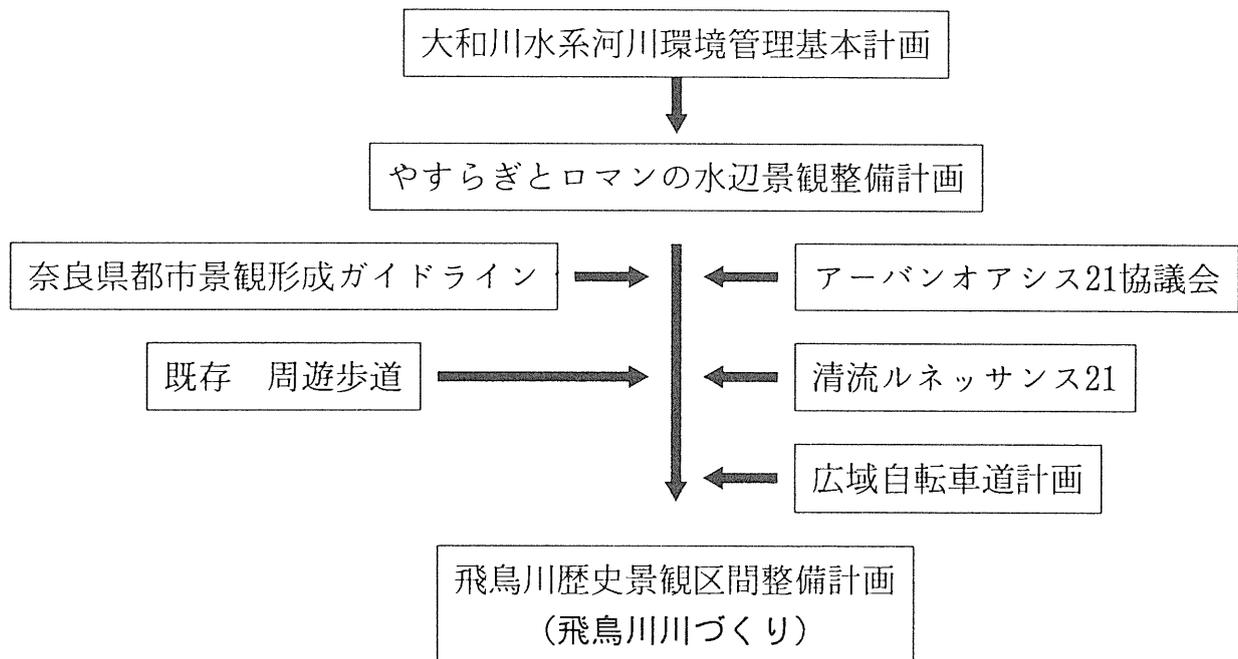


図4・1 関連所計画の関係

5. 川づくり，川まもりの検討

5.1 基本理念

近年，飛鳥川は河川改修や人々の生活の変化に伴い，万葉の川の面影をなくしつつある。

そこで川づくり，川まもりについては，歴史的香りを五感を通して感じられるような川の姿を目指すものとし，飛鳥川では日本の心，万葉のふるさとの川として，川を再生し後世に残していくような基本理念を以下のように設定した。

基本理念：「飛鳥人に出会える川」（古えの歴史と自然あふれる飛鳥川の再生）

●玉藻に触れる

清冽な流水やハチマンガブ*の巨岩，流れたなびく玉藻など，飛鳥川には触れたいものがある。このため，護岸の緩傾斜化などの親水型護岸への改修を進め，触って感じられる飛鳥川を目指す。

●悠久の歴史を見る

豊かな水の流れは，人々の心を潤し，なぐさめるものである。しかし，灌漑用の取水などによって一部の飛鳥川の水面はやせている。さらに，コンクリートの堰や護岸は周辺の歴史的な景観と調和していない。このため，目に潤いを与える水面を作るため，低々水路を創造するとともに，既存の堰の修景，護岸の改善を図るなど，周辺の歴史環境に十分配慮した飛鳥川を目指す。

●水落を聞く

川のせせらぎほど清純で涼しい音はない。飛鳥川の水音は一度しか訪れない旅の人にもいつまでも懐かしく優しく残る。散歩道を歩きながら聞こえる川音づくりのため，石橋を渡し，しがらみをイメージした落差工を設置し，さらに瀬淵の復活による瀬音の創造など，川を感じることでできる空間づくりを目指す。

●神奈備の水を味わう

飛鳥神奈備水の源流ともなる栢森上流の飛鳥川。しかし家庭排水が流れ込んでいるとなるとイメージも良くない。このため，明日香村アーバンオアシス21への支援をし，住民の水質保全の意識の高揚に資する飛鳥川を目指す。

●万葉の草花が香る

飛鳥川は，万葉集の中で23首も詠まれており，古くから人々に親しまれてきた川であるが，現在は人々の川離れが起きている。このため，川周辺に万葉植物*の植栽を施すなど，万葉の香りあふれる川づくりを目指す。

5.2 ゾーンの設定

5.2.1 区間区分

対象区間の飛鳥川における区間区分を河川環境管理基本計画，やすらぎとロマンの水辺景観整備計画，奈良県都市景観形成ガイドラインといった上位計画を踏まえ，さらに周辺土地利用，都市計画，風致地区等の法指定地区を考慮した区間区分を行う。

大和川水系河川環境管理基本計画

飛鳥平野ブロック (豊かさとうるおいをはぐくむ空間)	竜門山地ブロック (たたなづく山隠れる空間)
-------------------------------	---------------------------

やすらぎとロマンの水辺景観整備計画

飛鳥歴史景観区間	飛鳥丘陵区間
----------	--------

奈良県都市景観形成ガイドライン

山辺の景観形成	市街化区域	山辺の景観形成	大和青垣の保存
---------	-------	---------	---------

法指定
都市計画
土地利用
による細区分

豊浦・雷集落区間	甘樫丘陵区間	島之庄市街地区間	稲淵・棚田区間	稲淵聖地区間
----------	--------	----------	---------	--------

5.2.2 区間別基本方針

基本理念である「飛鳥人に会える川」を目標とし、飛鳥川の持つ歴史性・自然環境・景観を保存、再生するための基本方針を、各区間の持つ特色を活かして立案する。

5.2.3 ゾーニング

前項で区分した各区間について、〈歴史性〉〈景勝性〉〈自然性〉及び〈村づくりのニーズ〉を考慮した細区分を行う。

細区分の考え方は、大きく「保全」「回復」「再生」とし、さらに「回復」については、「維持を基調にしたもの」と「積極的に進めていくもの」とに区分する。

図 5・1 に飛鳥川の区間区分及びゾーニング図を示す。

5.3 ネットワークと拠点地区の設定

飛鳥川の有する歴史性や自然性、景勝性等の特性を活かし、川を軸として周辺に存在する歴史的・文化的施設や公園等を有機的に連携し、観光のメインルートとなっている周遊歩道や現在計画中のサイクリング道と一体となったネットワークづくりを行った。

また歴史性・景勝性・ネットワークとの関わりなどの観点から拠点としてふさわしいと考えられる8つの地区を設定した。

史跡とネットワーク、拠点地区との関係を図 5・2 に示す。

5.4 平面計画の事例

平面計画では、基本理念で示した五感を通して感じられる飛鳥川を演出すべく、見る・聞くなどの五感に対しては、理念で示した整備を随所に取り入れることを基本とした上で、以下の点に留意しながら計画を策定した。

- ①ゾーンごとの整備方針〈保全〉〈回復〉〈再生〉を基本とした整備。
- ②飛鳥川沿いに切れることのないネットワーク（遊歩道の新設）。
- ③歴史を身近に感じられる配慮（川しるべの設置）
上記の配慮を取り入れた平面計画の事例を図 5・3 に示す。

5.5 川まもりの検討

川を好ましい状態に保つためには地元住民の協力が不可欠であるが、川と人々の結びつきが薄れてきた中で、いかにして住民の理解を得ていくかは大きな課題であり、計画の成果は川まもりへ住民参加が恒常的になされるかがキーポイントとなる。

飛鳥人が抱いていた価値観を整理し、さらに川づくり、川まもりにおける時代的変遷を考察する中で、飛鳥人とは違った意味での川に対する価値観、川との一体感を構築するためのステップについて考察する。

表 5・1 区間別整備方針

区間名	基本計画
豊浦・雷集落区間	旅の導入部として当区間で出会う飛鳥川の印象が、良い物となり、人々が十分に河川景観の美しさを楽しめるような空間づくりに務める。
甘檜丘陵区間	飛鳥川が甘檜丘の麓をめぐる区間であり、人々が飛鳥川のほとりで歴史に思いを馳せるにふさわしい空間づくりに務める。
島之庄市街地区間	飛鳥川が市街地の中を流れる区間であるため、住民にとっても観光客にとっても、飛鳥川が憩いの場所となるよう、周辺のニーズに応えた河川空間づくりに務める。
稲淵棚田区間	現況景観を基調とし、棚田をはじめとする、人と自然とが織りなして作り出されている、豊かな農業文化風景を尊重し、これに調和するような河川景観づくりに務める。
稲淵聖地区間	良好な自然環境を基調とし、周辺の歴史的イメージを尊重してこれを損なわないようにする。また、すでに損なわれていると見られるものについては積極的に改善を図り、良好な河川景観づくりに務める。

表 5・2 ゾーニングの考え方

	保 全	基本的には現況の保全に務めることとする
回 復	I 維持を基調とする	河川の現況維持を基本とし、部分的には回復を図る
	II 積極的に進める	河川の現況を尊重しつつ、景勝性や自然性の回復を積極的に行い、より良い河川空間の形成をめざす。
	再 生	積極的に魅力のある河川空間を形成する

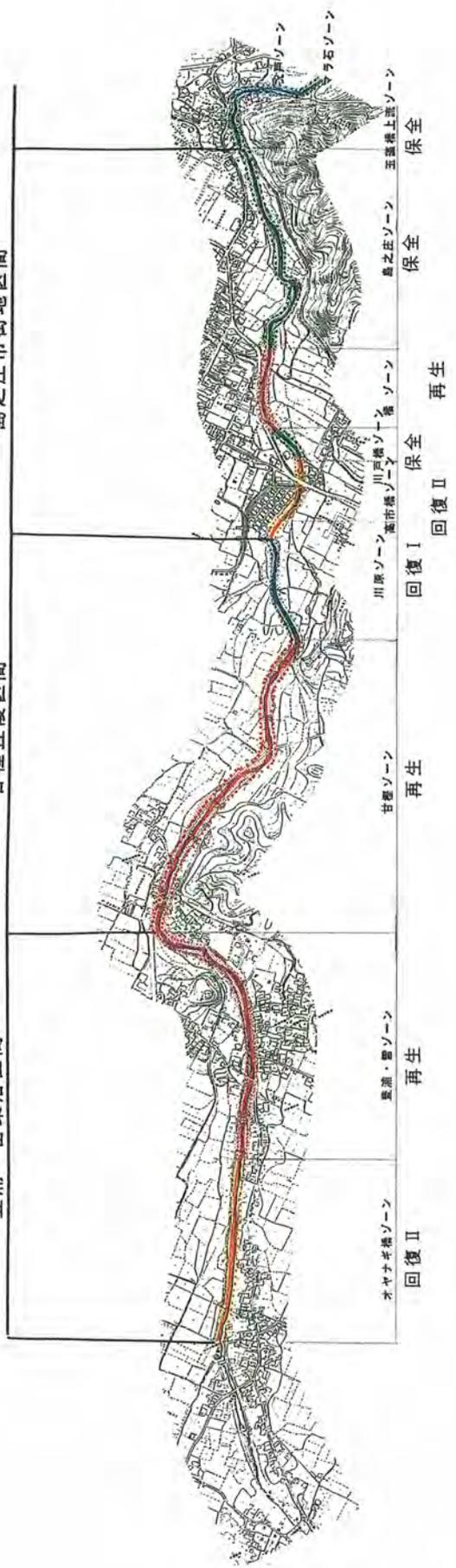
表 5・3 拠点地区の設定

小懇田地区 (拠点A)	古代飛鳥への入口としての役目を果たす位置にあり、現在道路整備計画がなされている。
甘樫橋地区 (拠点B)	歴史性の濃い地区であり、周辺には豊浦、雷の集落があるほか、国営飛鳥歴史公園の甘樫丘地区の入口にもあたり、史跡水落遺跡にも近い。
飛鳥橋地区 (拠点C)	歴史性が濃く、飛鳥橋を周遊歩道・サイクリング道が横断している。
河原地区 (拠点D)	明日香村の中心部に近く、また周辺の自然性が高くカワニナが豊富に存在していることからあまがせホテルの復活が期待される。
橋地区 (拠点E)	対岸に観光名所である橋寺があり、周遊歩道・サイクリング道計画がある。
玉藻橋地区 (拠点F)	飛鳥川支川の冬野川合流点であり優れた景観を呈している。また観光名所石舞台に近く周遊歩道、サイクリング道の節点となっている。
柵田地区 (拠点G)	飛鳥歴史公園に近く、飛鳥を代表する柵田景観が眼前に広がる地区である。
ハチマンダブ地区 (拠点H)	ハチマンダブをはじめ、優れた景観資源があるが、これまで川への接近性の悪さから埋もれた観光資源となっている。

豊浦・雲集落区間

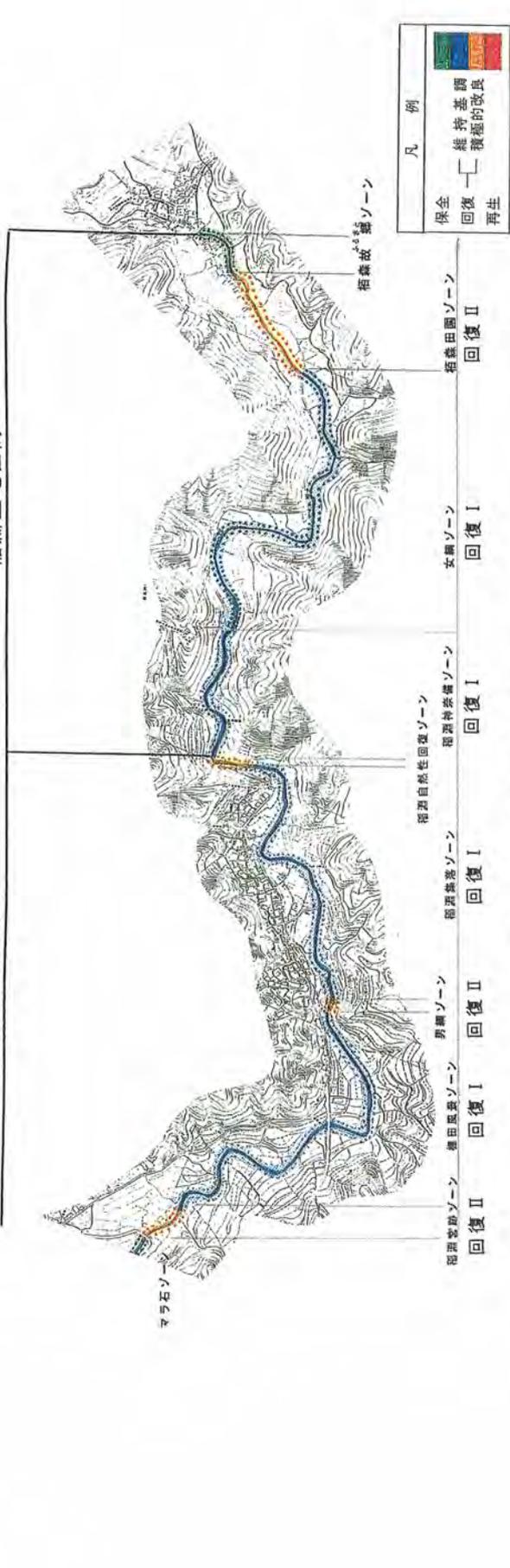
甘樫丘陵区間

島之庄市街区間



稲淵棚田区間

稲淵聖地区間



凡 例

■	保全
□	回復
□	維持基調
□	積極的改良
□	再生

図 5・1 区間区分、ゾーニング図

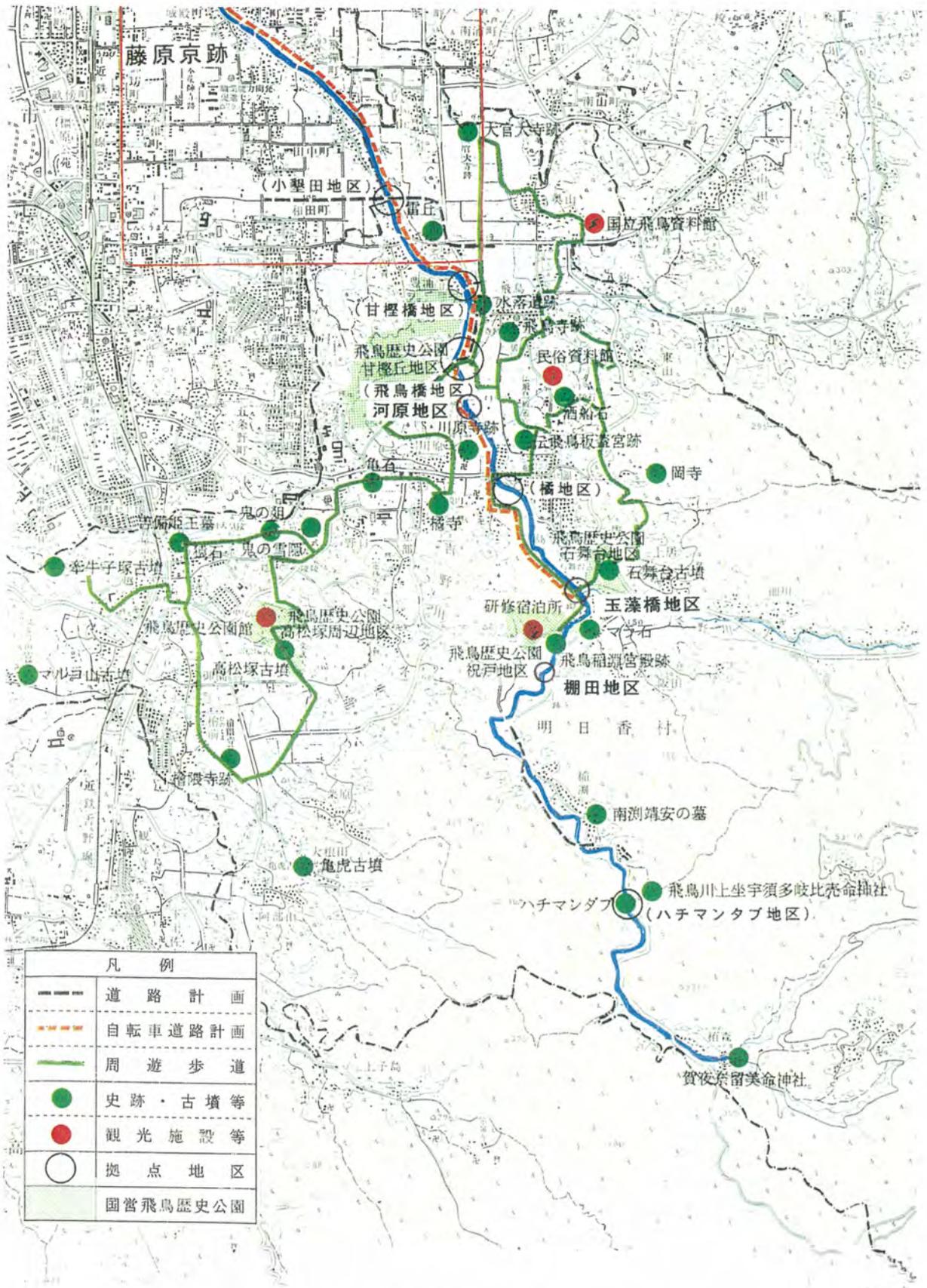


図5・2 史跡とネットワーク，拠点地区



図5-3 平面計画の事例

5.5.1 飛鳥人の価値観

現代においても飛鳥川は心のふるさとを流れる川といわれるが、古来より神奈備の里を流れる「聖なる川」でもあった。当時の飛鳥川にかかわる行事とその行事が成立する世界観について表5・4にまとめる。近代文明の発達とともに現在ではほぼ失われてしまった信仰である。

伝統行事の消滅は単にその行事が行われなくなるという意味だけでなく、その行事が成立しうるための世界観も同時に消滅していったことを意味する。科学技術の進歩、生活の利便性の追求により、飛鳥川を通じ天空・山中・海上の世界、神霊・人がつながりあって生きているという世界観、それを利用し、守ってきた人々の結びつきが失われてきたといえ、また河川を尊重する観念も薄れてきたといえる。

5.5.2 川まもりへのステップ

現代においても、せせらぎの音や変化に富んだ河床状態、緑美しい河川景観は人間の五感に働きかけ人々の心をなごます。こうした河川に対する人々の思いは、川の情景や瀬・淀を好んで歌に詠んだ飛鳥人の時代から変わらないはずであるが、前節で示した飛鳥人の抱

いていた川に対するアニミズム的（万物に靈魂精霊が宿り、諸現象はそれら靈魂により司られている）世界観は、近代的価値観の浸透、生活における川の利用形態の変化とともに失われ、人々の川との係わりは薄れてきた。

飛鳥時代から現在及び将来までの飛鳥川における川づくり川まもりの取り組みを時代的変遷をふまえて示したものが表5・5である。古代、川まもりは主として利用者である地域住民の手により行われ、人々は川に対し、自然に対する畏怖の念とともに聖なる世界としての尊敬の念を持って接していた。その後、明治以降の特に昭和30年代からの近代的河川改修や生活様式の変化により住民による川まもりの必要性が低下し、人々の視野から川という存在は遠のくことになった。現在では、地球規模での環境問題を背景にして、古代のアニミズム的価値観は、多種多様な生物の中に生かされている人間といった共生の価値観へと移り変わり、人々は物質的豊かさよりむしろ心の豊かさを、河川に対し潤いややすらぎを求めている。結果、川づくりにおいて自然景観、親水性に配慮すること、川まもりにおいて河川管理者と住民が一体となって利用・維持していくことが必要となった。

表 5・4 飛鳥川とその世界

川に関する行事	村人の世界観の中で機能する飛鳥川	聖なる飛鳥川を包含する世界
雨乞い (なもで踊り)	明治の末まで雨乞いが行われていた。早魃になるとホーラクダブ、ハチマンガブ、男淵、女淵などにそれぞれの集落で雨乞いの踊りを奉納しに行った。 また、男淵、女淵の主は竜神であり、ともに竜宮につながっているという。 沿川で竜神を祀っている神社、祠は数多くある。	・人々の願いが天に通じる世界 ・川の上流に竜宮への入口が開いている世界 ・竜のいる世界
オツナカケ	勸請縄 ^④ は、飛鳥川の上流の浄土から流れてくる福をここで受けとめる意味と外からの悪霊の進入を防ぐ意味との2つの意味があるという。現在でも稲淵・栢森の集落で毎年行われる貴重な伝統行事である。	・上流に理想郷があるという世界 ・川が神霊やエネルギーの流通路として機能する世界
ソソジョサン迎え (祖先霊)	お盆には、家々でイデ（水の落ちているところ）や川へ先祖の霊を迎えに行っている。	・川が先祖霊の通路として機能する世界
若水くみ	年が明けて初めて使い飲む水は、若水と呼び、元旦の朝い川に汲みに行っていた。この若水を飲むことで、新しい一年の無病息災のまじないとした。	・年があらたまると新しい御霊が川に宿るという世界
岡本家の行事	代々水車で植村公御用米の精白をしていた岡本家では、毎年正月の早朝に川原（川戸）へ行き、大きな石を拾ってきて屋敷内に置き、一年間そのままにし、大晦日にまた川原へ返しにいていたという。新しい舗装道路ができて川へ降りられなくなるまでしていたという。	・毎年川原の石に新しい靈魂（タマ）が宿る世界
ミロクさん参り	大字飛鳥の飛鳥川の東岸に祀られている石像はミロクさんと呼ばれ、腰から下の病を治すということで今なお参拝する人々が絶えない。堰の一部に使われていたそうだが、いつの間にか、上流の弥勒世から流れ着いたとされるようになった。	・川は上流が弥勒世につながっているという世界

今回、基本理念として飛鳥人に出会える川を掲げ、飛鳥川を軸とした歴史的地物とのネットワーク、改修により失われつつある瀬や淵の保全再生など、古代の万葉の里を流れる川を可能な限り再現し、疎遠となった人と川との係わりを再構築すべく今回の川づくり計画を作成したが、人と川との関係の再構築は、地域住民や訪れる人々の美しい景観、好ましい河川環境を維持していこうとする活動（川まもり）への参加なしには成り立たない。

川まもりとは、川の有する自然・歴史・文化を未来

へ継承するものである。古代、人々が抱いていた価値観を尊重し、その上で新たに現代人が獲得した共生の概念を理解しそれが生きる場を維持していくことが必要となり、瀬淵緑に代表される本来の川の姿、川の持つ精神的・心理的・物理的な価値を知り、それを維持伝承していくことが川まもりの意義といえる。そのためには伝統行事の保護・復活、生物生息空間の確保、美しい河川景観の維持などが重要となり、こうした取り組みには地域住民の参加が不可欠となる。

表 5-5 川づくりと川まもりの時代的変遷

川	昔	近・現代	将来
川づくり	<ul style="list-style-type: none"> 森林の乱伐を禁止 魚の乱獲をせず <ul style="list-style-type: none"> ・自然・土羽・石積護岸 	<ul style="list-style-type: none"> 河川法制定（治水を主目的とする）S.39 <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート護岸（コンクリート・PCC） ・河川形状の直線化 	<ul style="list-style-type: none"> 万葉の清流ルネサンス 多自然型護岸（リバーフレンド） 歴史景観との調和 親水性の向上
川空間	古代治水・利水整備 <ul style="list-style-type: none"> ・流路変更 ・井手 ・しがらみ ・石橋 	近代的水岸整備のはじまり <ul style="list-style-type: none"> 川の自然性・底層性親水性の低下を招く 治水性・利水性の飛躍的向上 	(物理的障害の排除) 飛鳥川歴史景観区間整備計画 川への道の確保 <ul style="list-style-type: none"> 自然性・景観性親水性の向上 川への安全な接近性の向上
川まもり	利用者（地域住民）による川まもり <ul style="list-style-type: none"> ・川ざらい（雑草ごと） ・草刈り ・川への道の手入れ 	行政による川管理 <ul style="list-style-type: none"> 住民による川まもりの必要性低下 	新しい川まもりのはじまり <ul style="list-style-type: none"> 河川管理者 <ul style="list-style-type: none"> ・明日香つ子大森会 ・クリーニングキャンペーン ・アマゴ放流 アーバンオアシス21協議会 <ul style="list-style-type: none"> 【利用マナーの形成】 知水政策（川情報共有化） 学校教育での知水教育 豊かな水環境基盤づくり委員会 <ul style="list-style-type: none"> 川を含む世界版倫理の形成
社会的背景	森羅万象に因果関係を見るアニミズムの世界観・倫理（内包感・一体感）	明日香まるごと博物館構想 神奈川の里構想（御田オナーナー制度）	川とつながっている 生態的世界観・倫理の形成（共生感・一体感）
人々の意識	川への関心を持つ（存在感）	川への関心が深まる（親近感）	川とつながっている 生態的世界観・倫理の形成（共生感・一体感）

幸い明日香村ではアーバン21協議会といった基礎地盤ができあがっており、それらを通した河川環境維持のための協力は比較的容易に実行されるであろう。川まもりにはこうした地域住民の体制づくりが不可欠であり、さらに好ましい河川環境を未来へ継承するためには、川が生命の源であること、多様な生物を育む包容力のあること、時として牙をむき破壊者となることなど、そのありさまを次世代を担う子供たちに理解してもらおうための知水教育が必要であり、こうした将来へつなげる川まもりの体制の確立が人と川との結びつきを一層深くしていくものとなるであろう。

6. 結語

本論では、歴史的資源を豊富に有する飛鳥川を対象とした河道整備計画の一例を示したが、実施に向けては、いくつかの課題を残している。1つは危機管理体制の確立である。計画以上の洪水に対してはハードでの対応は困難であるため、危険地域や避難経路の確認などソフト対策が必要である。また、飛鳥川では灌漑用水としての取水のため一時期水量が非常に少ない。好ましい河川景観を形成するため水量を確保する対策(井堰の統合など)が必要である。

一般に河道整備計画には現況分析、基本理念の設定、ゾーニング、施設配置計画などが必要となる。昨今の河川整備においては、昔日の優れた自然環境、美しい河川景観を目標とした検討がなされるが、大抵の場合、どのような状態が最も適した状態かを設定する段階でとどまってしまう、現況の保全又は画一化されがちな親水・多自然型整備に偏る傾向が見られる。その点飛鳥川では、万葉の川の復活という明確なコンセプトが存在し、万葉集に書きとめられた情景を再生させることを第一義とした。歴史環境を豊富に有するという点では飛鳥川は特異な河川といえるが、他河川においてもその成立において歴史的背景の全くない河川は少ないと思われる。日常生活から河川の必要性の認識が薄れている現代において、人々の目を川へ向けさせることは易しいことではないが、川を創り管理するものとして、その川を持つ歴史、環境を最大限に発揮させられるような配慮と、それを住民あるいは訪れる人々に理解してもらえよう、意思の疎通を行い人々の意識レベルを向上させることが必要である。

最後に、本報告の作成に当たっては、平成6、7年度の飛鳥川歴史景観区間整備計画検討委員会報告を参考にさせていただいた。検討に参加下さいました委員の皆様方に厚くお礼を申し上げます。

語句説明

玉藻：万葉集に詠まれる玉藻は、エビモのこととされる。現在でも飛鳥川によく見られ、清流で流れの速い瀬に付着して、流れに靡く藻。根株を残して冬は枯れ、暖かくなると再び茎や葉が1m近く伸びる。

神奈備：神霊が宿っている山、川、岩、木などがある場所を意味する。アニミズムの世界観。飛鳥神奈備といえば、飛鳥の精神的中枢である自然神が司どり宿る神秘的な土地を指す。

禊ぎ：「甘樫の丘の東の川辺」には斎場があったとされるが、飛鳥人がその付近と考えられる地で禊ぎをし、身体を清め盟神探湯(くがたち)を行ったと伝わる。

石舞台古墳：上部の封土が失われ、玄室の巨石が露出したもので、わが国最大級の石室を持つ方形墳。この石室の位置する島之庄には蘇我馬子の庭園があったことから、馬子の墓とする説もある。

橘寺：法隆寺とともに聖徳太子建立の七寺の一つ。またこの地は聖徳太子生誕の地ともいわれる。現存する伽藍は全て江戸時代以降のもので、本尊は室町時代の作といわれる太子三十五歳の摂政像。

水落遺跡：7世紀後半の建物の礎石群のある方形基壇を持つ遺跡。漏刻(水時計)が置かれていたと考えられ、飛鳥川から導水した木樋暗渠や、サイフォン方式の通水に用いられたと見られる銅製の導管が発見されている。

勸請縄(かんじょうなわ)：毎年正月の11日に栢森と稲淵の集落では、飛鳥川に綱を張り、五穀豊穡と村人の子孫繁栄を願う。川に綱をかける意味は、川の上流から流れてくるといふ福を集落内に導き入れる意味と、一方で、水道を通してやってくる病神の集落への侵入を防ぐ結界の意味を持つ

ハチマンダブ：飛鳥川上坐宇須多岐比売命(かみにますうすたきひめ)神社の前には地元の人がハチマンダブと呼ぶ淵があり、早魃の際にはこの淵に松明を投げ込み雨ごいをしたと伝えられる。

参考文献

- 1) 寺尾 勇(1993)：「飛鳥歴史散歩」 創元社
やすらぎとロマンの水辺景観整備計画
大和川水系河川環境管理基本計画
飛鳥川歴史景観区間整備計画
(飛鳥川川づくり)
奈良県都市景観形成ガイドライン

アーバンオアシス21協議会

広域自転車道計画

既存 周遊歩道

清流ルネッサンス21

堤防の緩傾斜化に伴う法面せん断力分布の変化に関する研究

吉川 秀夫*・関根 正人**

1 はじめに

近年、河川環境の整備が叫ばれ、住民にとっての憩いの場である水辺空間を親しみやすいものに変えること、および、住民が水辺へアクセスすることをさらに容易にすること、などを旨とした検討が進められている。この目的を達するためには、いくつかのアプローチが考えられる。まず、前者に関しては、人工的でも画一的な河川堤防で仕切られた空間を、より自然に近い水辺空間へ戻していくため、従来のコンクリート・ブロックによる護岸から、たとえば芝などの植生の耐浸食性を利用した護岸へと変えることが考えられている。ただし、そのためには、植生に被われた堤防法面に作用するせん断力そのものを予測し、これを低減させる対策を講じることや、植生の耐浸食力を補う補強工法を新たに開発していくことなどが必要となる。一方、後者については、堤防法面の勾配を緩やかにし、住民と水辺空間との間の障壁を取り除くことなどが考えられている。

本研究では、上記の二つの意味から有効な対策である堤防法面の緩傾斜化により、法面に作用するせん断力が如何に低減させられるかを明らかにする。あわせて、これまで条件に応じて堤防の表法面に設置することが義務づけられてきた「小段」の水理学的な意義について検討することを目的とする。

2 壁面せん断力分布の予測手法

2.1 概要

自然河川では、曲率が局所的に変化し、流れおよび河床形状が流下方向に変化するため、流路内の流れおよびそれに伴い生じる側岸浸食は、流下方向に一樣に進行するわけではない。しかし、直線流路および曲率の変化のない一樣湾曲流路では、入り口からある程度の距離を有する助走区間を除いて、流れおよび流路断

面形状が流下方向に変化しない平衡状態が存在する。この平衡状態における流れおよび壁面せん断力分布は、流下方向に変化することなく、断面内の保存則を考慮するだけで予測することができるため、その解析は比較的容易である。本研究は、自然河川の流路変動を予測する新たな手法を開発するための第一歩として行なわれた研究であり、平衡（等流）状態にある流れを対象として、河道の断面形状の変化に伴って壁面せん断力の分布がどのように変化するかに焦点を当ててまとめたものである。次節以降には、計算の詳細を示し、第3章以降の検討結果を説明するための準備とする。なお、ここで示す解析モデルを組み込んで行った側岸浸食と、それに伴い生じる流路変動に関する研究成果は、別論文^{1),2)}にまとめられており、そちらもあわせて参照されたい。

本研究で用いる座標系として、流路中心軸に沿って x 軸、それに直交する横断方向に y 軸を、鉛直上向きに z 軸を、それぞれとることにし、各方向の流速成分を u, v, w とする。また、 g, h および η を河床高、水深および水面高としている。

2.2 三次元計算法

流下方向に変化がないような平衡状態における流れの局所的な流速あるいは水深の横断面内変化は、 x 方向への微分項を零とした運動方程式および連続式に基づいて解析することができる。さらに、解析の簡略化のため、圧力の静水圧分布近似を用いることにすれば、 z 方向への運動方程式を解くことを省略できる。そこで、ここで解析に用いる支配方程式を式(2・1)～(2・2)に示す。ただし、ここで示す解析モデルは、一樣湾曲流路の側岸浸食とそれに伴う流路変動を予測する数値解析モデル³⁾を開発する際に、その中に組み込んだ流れの解析モデルであり、その対象を直線流路に限定せず、一樣な曲率半径 r (曲率 C) をもちながら湾曲している流路における平衡状態の流れをも解析でき

* 吉川 秀夫 働河川環境管理財団 河川環境総合研究所長

** 関根 正人 早稲田大学助教授 理工学部土木工学科

るようになっていいる。もし、直線流路に限定するならば、 $r = \infty$, $C = 0$ とすればよく、その場合には以下の説明はさらに簡略化されるが、ここでは、敢えて、より汎用性の高い一様湾曲流路内の平衡流れに関する解析モデルについての説明をする。

$$\begin{aligned} & v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{uv}{r} \\ &= \frac{gI_0}{1+yC} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ & v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{u^2}{r} \\ &= -\frac{g}{1+yC} \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ & \quad \frac{1}{r} \frac{\partial rv}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned}$$

ここに、 ν_t は乱流拡散係数であり、ここでは、簡易化のため、この値を各時間毎の断面の流路中心軸上での摩擦速度 u_*^0 と水深 h_0 との関係から $\nu_t = \kappa/6 u_*^0 h_0$ によって与えることにし、 ν_t の横断面内の変化を無視することにした。ここに、 κ はカルマン定数である。式(2・1)～(2・3)の解法に当たっては、次のような境界条件を用いている。まず、底面で slip condition を採用する。すなわち、底面せん断力の x 方向成分 τ_{bx} を抵抗係数 C_f との関係で、次式のように定義する。

$$\begin{aligned} \tau_{bx} &= \mu \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = \rho C_f \sqrt{u_b^2 + v_b^2} u_b \\ C_f &= \left(\frac{1}{\kappa} \log_e \left(\frac{30z_b}{k_s} \right) \right)^{-1/2} \end{aligned}$$

ここに、 (u_b, v_b) は河道を構成する面（以下河道面と呼ぶ）の近傍における流速ベクトルの成分であり、 μ は水の粘性係数である、 k_s は河道面の相当粗度高さであり、河道構成材料の平均粒径の2倍程度とした。 z_b は粘性底層の外側にとった基準高さであるが、本研究ではこれを時空間的に変化させることなく一定値 ($z_b = 0.05h_0$) として与えることにした。また、底面せん断力ベクトル (τ_{bx}, τ_{by}) は河道面近傍の流速ベクトルに平行であるとした。さらに、河道面および水面を横切る流れはないものとし、あわせて水面では面に直角方向への u および v の速度勾配が0であるとした。また、水際では、すべての流速成分を0とした。

上記の支配方程式の解法には、関根³⁾が蛇行河川の土砂のふり分けを解析した際に用いた方法と同一の手法を用いた。すなわち、変数および方程式を無次元化した後、流路曲率を摂動展開のパラメータとして変数および方程式の摂動展開を行い、展開された方程式の線形一次の解を求める。次に、これを繰り返し計算

の第一次の近似解として元々の非線形方程式を解いていく。ここでは、一例として、水深の横断方向変化についての計算について説明する。まず、式(2・2)を水深方向に積分した浅水流方程式から得られる水位の横断方向変化の第一次近似を、式(2・6)に基づいて求める。

$$\frac{1}{r} \int_{\eta}^{\xi} \bar{u}_0^2 dz = \frac{gh}{1+yC} \frac{\partial \xi}{\partial y}$$

ここに、 \bar{u}_0^2 は曲率の影響のない直線河道における主流速の水深方向平均値である。次に、これを初期条件として計算領域を決定し、計算格子網を設定した後、流れの計算を行い、式(2・6)の元になった非線形の方程式を解くことで、水位の非線形解を求める。このような手順を繰り返し、流速と水位の解が収束するまで計算を行うことにした。計算格子については、次のように設定する。本計算においては、横断面として自然河川に見られるような任意な形状のものまでを解析の対象として考えているため、近年盛んに使われるようになった一般座標系を導入することにした。それは、従来の直交座標系のまま領域内に格子網を形成し、差分法を用いて支配方程式を離散化して解こうとすると、格子の非直交性が原因となり、計算精度を著しく落とす恐れがあるからである。ここでは、日野ら⁴⁾あるいは孟ら⁵⁾による方法に倣って、支配方程式を書き直した後、これらを解いている。格子網の生成を含めた解析方法の詳細は文献^{4),5)}を参照されたい。

2.3 二次元簡易計算法

前節では、流速の水深方向分布の影響まで考慮に入れた三次元の計算方法について説明した。この解析モデルは、乱流拡散係数の取り扱いを除けば、かなり厳密な取り扱いをしており、完成度の高いものといえる。しかし、実用的な意味からすると、計算が煩雑であり、計算に要する記憶容量等が問題になることから、必ずしもモデルをこのように複雑化することが好ましいわけではない。そこで、ここでは壁面せん断力分布を予測することに主眼を置いて、解析モデルをできる限り簡略化することを考えた^{2),6)}。すなわち、流速の水深方向への変化についての情報を得ることは省略し、浅水流方程式に依拠して水深平均流速と壁面せん断力の横断面内の分布のみを求めることとした。この場合、支配方程式はかなり簡素化され、次のように表される。

$$\begin{aligned} 0 &= gI_0 - \frac{\tau}{\rho \cos \omega} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{\nu}_t \frac{\partial h \bar{u}}{\partial y} \right) = 0 \\ Q &= \int_{-B}^B h \bar{u} dy \end{aligned}$$

ここに、 Q は流量、 ω は河道法面の横断方向傾斜角、 I_0 は河道の縦断方向勾配、 \bar{v}_t は乱流拡散係数の水深平均値である。壁面におけるせん断力 τ は、抵抗係数 C_f および水深平均流速 \bar{u} との関係で $\tau = \rho C_f \bar{u}^2$ で表され、抵抗係数をたとえば 0.01 程度とすれば、式 (2・7) を水深平均の主流速について解くことで、壁面せん断力も同時に算出されることになる。なお、ここで導入した C_f は、skin friction に対応するものであり、断面形状が変化することに伴いこの値が変化することはないとした。ただし、この点に関しては今後さらに検討する必要があると考える。

3 計算法の妥当性の検証

前章で説明した2つの計算法の妥当性を検証するために、ここでは、台形断面直線水路において Ghosh ら⁷⁾ が測定した壁面せん断力の分布と計算値との比較を行う。図 3・1 には、その一例として、Ghosh らの Run 32 との比較結果を示す。Ghosh らは、壁面せん断力を、流速分布からあるいは Preston 管を用いた計

測から算出するなど、合計3通りの方法によって求め、その結果が図中に○印で示されている。Run 32 における主な実験条件は以下の通りである。

$$Q = 0.192(\text{ft}^3/\text{sec.}), h_0 = 0.160(\text{ft.}),$$

$$I_0 = 3.02 \times 10^{-3}$$

断面形状は図中に示されており、ここでは対称性を考慮して水路半断面の結果を示している。計算結果は図中の実線および破線で示されており、この図より、隅角部付近で大きめの値をとることを除けば、台形断面における特徴的な壁面せん断力分布が比較的精度良く予測されていることがわかる。図 3・1 で見られた計算結果の適合性は、Ghosh の他の条件における測定結果との比較からも確かめられている。また、図 3・1 でさらに注目すべきこととして、簡易二次元計算による結果が、三次元計算と同程度の予測精度をもつことがあげられる。このことは、壁面せん断力を予測しようとする限り、簡易二次元計算で十分であることを示唆するものと考えられる。そこで、第4章以降で行う検討には、簡易二次元計算の結果を用いることにした。

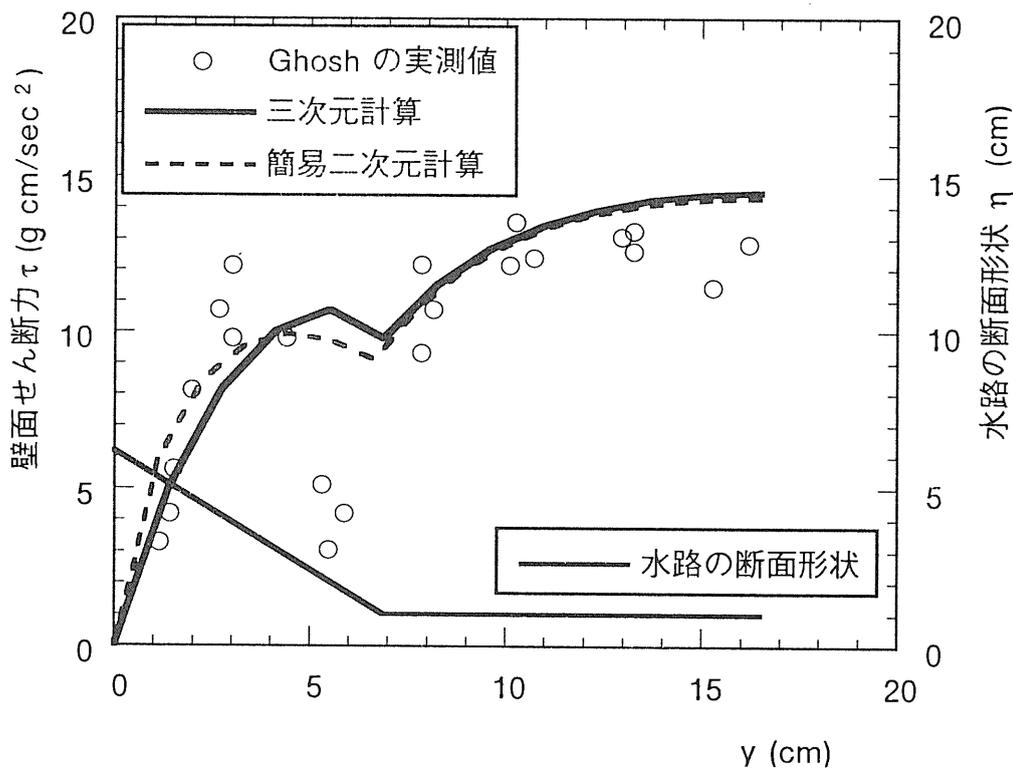


図 3・1 壁面せん断力分布の予測結果の比較

4 堤防の緩傾斜化に伴う法面せん断力分布の変化

本章では、堤防法面を緩傾斜化することにより、壁面せん断力の分布がどのように変化するかについて検討する。ここでは、一定流量を一定の勾配の下で通水することを想定し、法面の勾配を1:2, 1:3, 1:4の3通りに変化させた場合の壁面せん断力分布の変化を調べた。検討結果の一例を図3・2に示す。図3・2(a)にそれぞれの横断面形状を、図3・2(b)にはせん断力分布の変化をそれぞれ示した。この場合の主な計算条件は次の通りである。

$$Q = 100.0(m^3/sec.), I_b = 1/1000$$

この図より次のことがわかる。すなわち、

1. 堤防法面の緩傾斜化に伴い、低水路側で流速および壁面せん断力が増大し、高水敷および堤防法面上で減少する結果となる。なお、横断方向の分布特性としては、河道面が上に凸に接合す

る点付近では、せん断力が局所的に大きくなり、また、下に凸の点付近では小さな値をとることがわかる。

2. 緩傾斜化に伴い河積が減少するため、水位が上昇することになるが、ここで検討の対象としたスケールの場合においても、水位はそれぞれ1.31m, 1.36m, 1.43mとなり、その上昇高は10cm程度であった。また、低水路側の流速の増加によって、断面内平均流速までが増大し、結果的に流れに対する抵抗が減少する。言い換えれば、緩傾斜化により疎通能力が増大する結果となった。この点を定量的に把握するため、試みにManningの粗度係数 n の値を求めると、順に0.0334, 0.0329, 0.0324となり、わずかながら低下しているという結果となった。

このように、堤防法面の緩傾斜化によって、堤防法面に作用するせん断力が低下することが明らかになった。

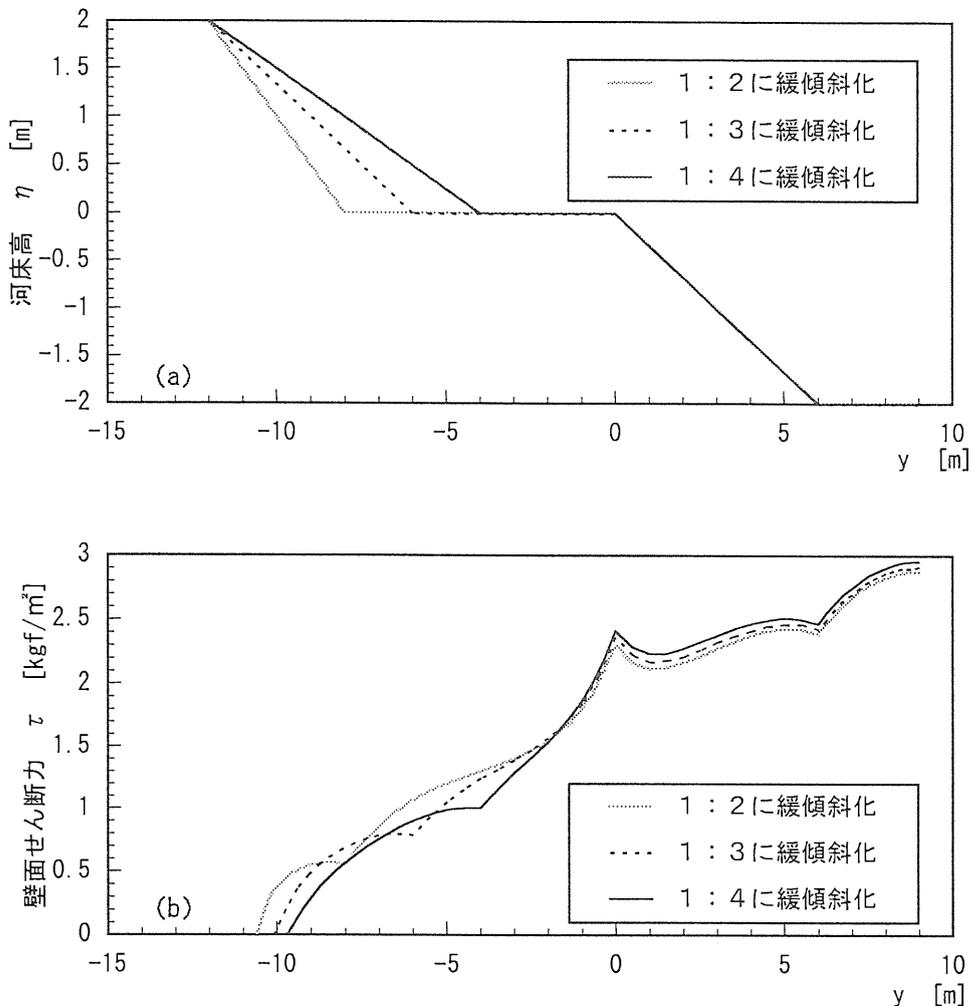


図3・2 堤防法面の緩傾斜化に伴う壁面せん断力分布の変化
(流量 $Q = 100(m^3/sec)$, 勾配 $i = 1/1000$)

5 小段が有する力学的意義について

前章で検討した堤防法面の緩傾斜化を実際に行っていく上で、これまで法面上に設置されてきた「小段」の水理学的機能について考えてみる必要があると考える。そこで、本章では、従来通り小段を設置した場合と、これを廃して緩傾斜化を行った場合について、壁面せん断力の横断方向分布がどのように変化するかを調べ、これにより、小段の意義について調べることにした。図3・3には、図3・2に示した例よりも規模の大きな実河川スケールの条件を想定して検討した結果を示す。主な計算条件を次に示す。

$$Q = 17000.0(m^3/sec.), I_0 = 1/800$$

図3・3(a)にそれぞれの横断面形状を、図3・3(b)にはせん断力分布の変化をそれぞれ示した。また、図3・4には、堤防法面付近に注目して描いた拡大図を示した。これより、次のことがわかる。

1. 堤防法面付近を除き、堤防法面の緩傾斜化なら

びに小段の有無が壁面せん断力へ与える影響は軽微である。ただし、法面上では、小段を廃して緩傾斜化するにつれてせん断力が低下する。

2. 堤防法面上では、小段を廃して緩傾斜化するにつれてせん断力が顕著に低下する。また、小段を設けた場合には、小段付近でせん断力が局所的に大きな値をとる。このことは、堤体の耐浸食性が十分でない場合には小段付近から浸食を受ける恐れがあることを意味する。
3. 低水路幅に対する高水敷幅の比がかなり大きい実河川の場合には、法面の緩傾斜化に伴う水位の上昇は小さく、図3・3の場合には順に5.20m, 5.21m, 5.23mであった。また、Manningの粗度係数はいずれの場合にも0.042程度となり、大きな差は生じない。

このように、小段を廃しても河道各部に治水上問題となる影響は現れず、法面を緩傾斜化することによって、かえって堤体を浸食から守る結果となることがわかる。

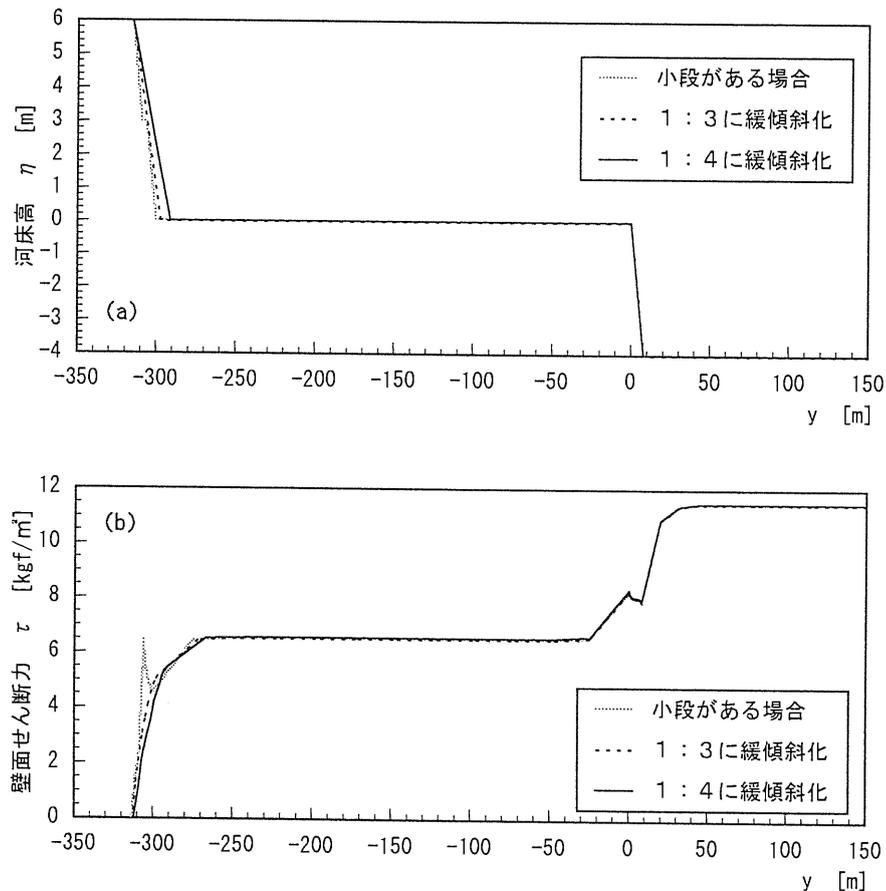


図3・3 堤防法面の緩傾斜化ならびに小段の有無の影響評価
(流量 $Q = 17000(m^3/sec)$, 勾配 $i = 1/800$)

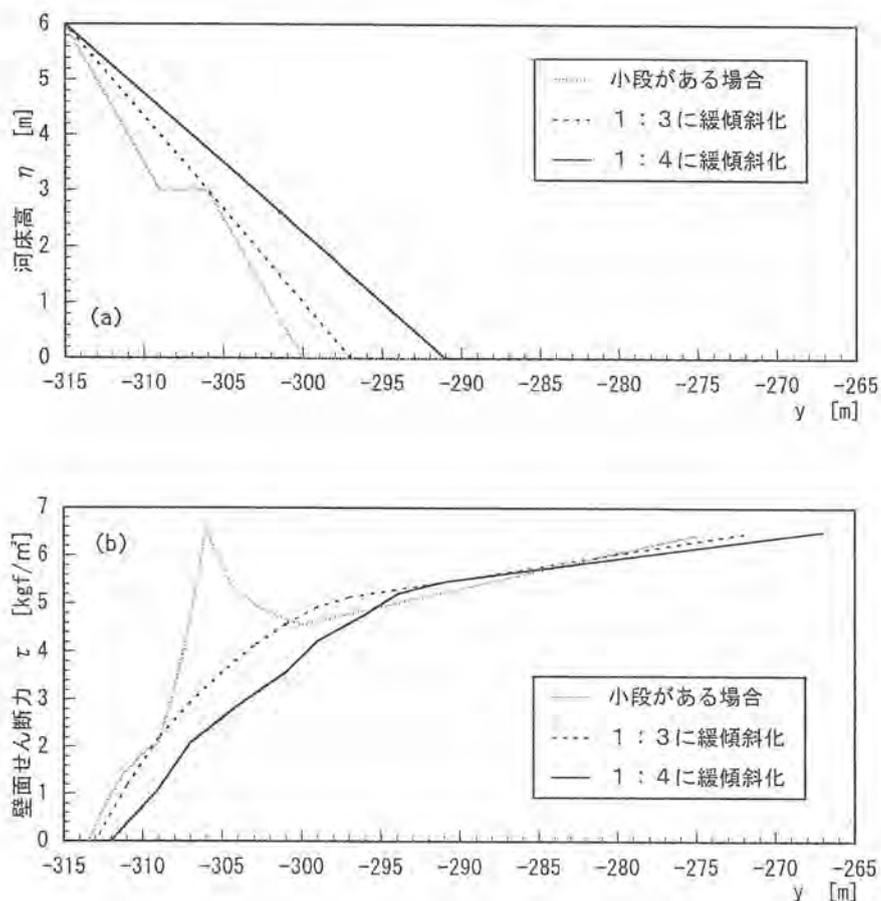


図3・4 堤防法面の緩傾斜化ならびに小段の有無の影響評価
側岸部の拡大図

6 結び

本論文では、近年検討が進められている堤防法面の緩傾斜化に注目し、これを行った場合に流れ場、とりわけ壁面せん断力にどのような変化が生じるかについて、堤防法面の保護という観点から検討した。その際、比較的容易に壁面せん断力分布を算出することができるように、簡略化された数値計算モデルを用いることを提案し、その説明を行うとともに、別途行った三次元計算の結果との比較を行った。また、計算結果と Ghosh らの実験結果との比較を通して、解析モデルの妥当性を確認した。

本研究による検討の結果、ここで対象とした程度の緩傾斜化を行うと、堤防法面に作用するせん断力が顕著に低下するとともに、断面全体では流水抵抗がわずかながら減少し、疎通能力が向上することが明らかになった。本研究では、法面の緩傾斜化とあわせて、小段がもつ水理学的役割について理解を深めることを目指し、たとえば、これを廃し、緩傾斜の堤体とした場

合に、堤防法面に作用するせん断力がどのように変化するかについても検討した。本論文により、小段が局部的に大きなせん断力を受け持っていること、などの水理学的機能の一端が明らかになったが、これが堤体の安定上不可欠であると判断される結果は得られなかった。むしろ、法面保護という観点から、小段を廃して緩傾斜化することの方が望ましいといえよう。小段の存在の是非については、今後さらにいくつかの面からの検討がなされるものと考えられ、今後も引き続き注目していきたいと考えている。最後に、数値計算上の今後の課題として、抵抗係数の合理的な決め方や乱流拡散係数の断面内分布を無視したことの影響、などについて検討していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 関根正人(1996)：側岸浸食機構を考慮した河川の流路変動に関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 533/ II - 34, pp. 51-59.

- 2) 安原 達・関根正人 (1993) : 直線河道の拡幅過程に関する研究, 第48回年次学術講演会概要集, 502-503, 1993.
- 3) 関根正人 (1993) : 蛇行河川の土砂のふるい分けに関する研究, 土木学会論文集, No. 467/II - 23, 29-38.
- 4) 日野幹雄・太田猛彦・砂田憲吾・渡辺邦夫 (1989) : 洪水の数値予報, 森北出版.
- 5) 孟 岩・奥村卓也・日野幹雄 (1992) : 直接数値計算による任意波状境界をもつ2次元及び3次元波状曲面上の流れの解析, 水工学論文集, 第36巻, pp. 355-360.
- 6) 関根正人・金子 淳・安原 達 (1995) : 小段を有する複断面河道の壁面せん断力に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会概要集, pp. 356-357.
- 7) Ghosh, S. N. and Roy, N. (1970) : Boundary Shear Distribution in Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Division, Proc. of ASCE, HY 4, Vol. 120, pp. 967-994.

甲突川の水害特性と河川整備

芦田 和男*・奥田 朗**・牟田神宗征***
大槻 英樹****・中西 章*****

要 旨

鹿児島県甲突川の河川整備をケーススタディとして取り上げ、今後の川づくりのあり方に関して調査・研究した。調査した内容は、流域の自然特性と河道特性、水害特性と治水の歴史、シラス台地の流出特性、シラスの侵食と土砂流出、1993年水害の要因と土砂収支、河道の安定性、水辺環境の整備方針などであり、河道整備の歴史の変遷の調査や河道の安定性の検討が安全で環境に配慮した川づくりのために重要であることが認識された。

1. 緒 言

わが国は、急峻な地形条件と降水量が多く集中豪雨にもしばしば見まわれる気象条件に加えて、かつての氾濫原に人口が集中し、山間部、山麓部にも人の営みが及んでいるという社会条件もあって、国土のいたるところで河川災害、土砂災害が発生している。そして、社会的条件と自然条件との対立の度合いが大きいほど、災害の規模は大きくなる。

鹿児島市は平成5年8月、甲突川の氾濫によって、甚大な被害を受けた。甲突川の改修は、江戸時代からの歴史があるが、明治以降、鹿児島市への人口集中など流域の土地利用が変化し、自然特性との調和が崩れたことが顕在化したのが、平成5年災害と思われる。

また、近年、川づくりに対しては人々の多様なニーズがある。しかし、歴史的な時間スケールで見れば、人のニーズは時代とともに変化していき、それまで調和していた自然とのバランスが崩れ、災害が発生する。川づくりの基本は、人が川にもっている様々なニーズと川のもっている自然特性との調和を図ることにある。

その為には安全な川づくり、歴史・文化・風土を生かした景観形成、生き物に優しい川づくり、人に優しい川づくりを目指さなければならない。

一方、わが国においては、治水安全度を高めるために、大河川、中小河川を問わず、河道掘削を主とした改修が行われることが多い。自然が長い年月をかけてバランスしている河道を人為的に改変することによって、河道は不安定になる。甲突川流域は、シラス地帯ということもあって土砂生産が活発である。安全な川づくりを目指すためには、流域の土砂動態を把握し、河道の安定性を検討しなければならない。

本稿は、以上の観点から、鹿児島県甲突川をケーススタディとして取り上げ川づくりのあり方について調査・研究した結果をまとめたものである。

2. 流域の自然特性と治水の歴史

2.1 流域と河道特性

甲突川は流域面積106.2km²、本川流路延長24.6kmの2級河川である。その源は鹿児島県日置郡山町八重山（標高676.8m）及び花尾山（標高540.4m）にあり、中流部は標高100~200mのシラス台地を流れている。流域の形状は典型的な羽状流域である。

甲突川流域を含む一帯は、図2・1に示すように、今から22,000年前の始良カルデラを形成した一連の噴火に伴って噴出・堆積した火砕流堆積物（シラス）が広く分布する。シラス下部にはそれ以前の火砕流の堆積物である溶結凝灰岩や軽石凝灰岩が分布し、上層のシラス台地が侵食された甲突川の河頭地先や支川花野川、比志島川の下流部にその露頭が見られる。下流部域は甲突川が永年にわたって流送した砂、シルト等よ

* 芦田 和男 (財)河川環境管理財団 大阪研究所長
** 奥田 朗 (財)先端建設技術センター 常務理事 (前 鹿児島県土木部長)
*** 牟田神宗征 鹿児島県 土木部河川課 参事
**** 大槻 英樹 (財)河川環境管理財団 大阪研究所 主任研究員
***** 中西 章 (株)水建設コンサルタント

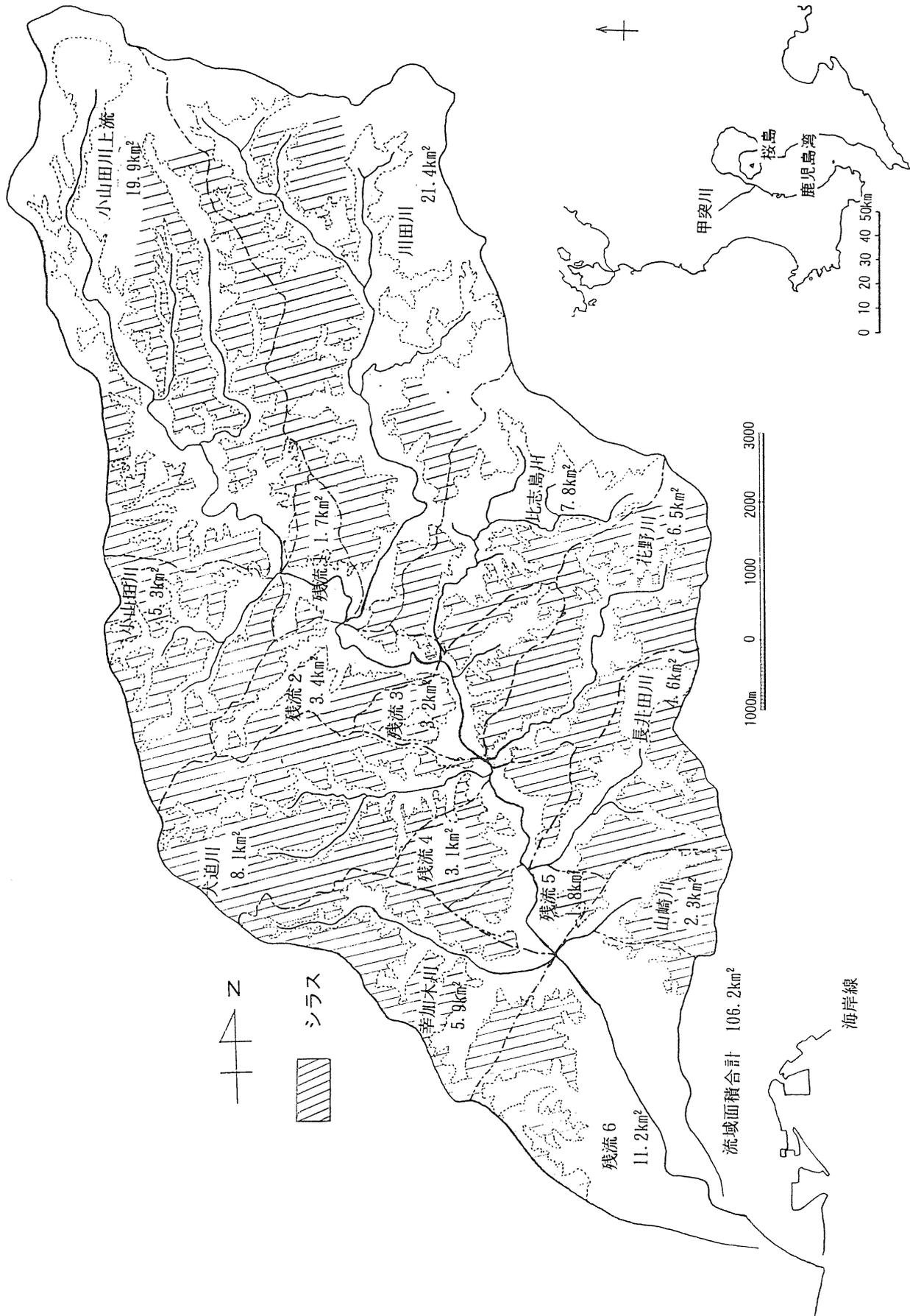


図2・1 甲突川流域とシラスの分布

りなる沖積層が低地を形成し鹿児島市街地となっている。

地山のシラスは非溶結の未固結堆積物であるため、雨水に侵食されやすく本・支川からは枝状の谷が幾重にも派生している。侵食されたシラス台地縁部の斜面は急崖をなし、長雨を伴った豪雨により表層崩壊を起こしやすい。平成5年8月の豪雨では流域内で約3,600ヶ所におよぶ崩壊が発生し、多量の土砂と倒木の発生源となり、その一部が河川へ流出し被害を大きくした。

図2・2は河口部から26km区間の縦断面図である。河床勾配は沖積層部を流れる9kmまでは河口付近を除き概ね1/800である。9kmから山地部に入り川田川合流点付近までは約1/50～1/200、川田川合流地点から小山田川合流点までは約1/50の急勾配となっている。小山田川合流点から22kmまでは郡山の盆地部を流れ勾配は約1/200であり、郡山の中心部及び農地となっている。22kmより上流部は山地部に入り、平均勾配は約1/25と急勾配である。支川の縦断面勾配は本川山間部と概ね同様であり1/50～1/100となっている。16km付近に勾配の急変点がある。これはこの地点の河床に溶結凝灰岩が残って滝になっており、それより上流のシラスが侵食されずに残っていたためである。平成5年の国道3号線を巻き込んだ河床の大崩壊はこの地点で発生した。

2.2 甲突川流域の水害特性と治水の歴史^{1),2)}

鹿児島市は、現在、県土の3%の面積に県人口の約30%にあたる53万人が住んでいるが、歴史的には、1341年、豪族・島津氏が居城としてからその城下町

として栄えた。江戸時代初期、1602年、第18代島津家久は居城を現在の鶴丸城に移し、城下町の建設を進めた。当時の甲突川は現在の流路より北側を流れており、流路は不安定で河岸沿いには荒地が連なっていたのを、川筋を南に固定し、ほぼ現在の川筋とした。城を中心にして、上級の武士ほど城の近くに住み、家格の順に下級の武士ほど遠くに居住するのが原則であった。甲突川の近くは小姓組級など下級武士の居住区であった。後年、明治維新の立役者、西郷隆盛、大久保利通などはこの付近の出身である。川の右岸側は川外とよばれ、農地として利用されていた。

その後、天保9年(1838)の大洪水を契機に、大規模な浚渫や川幅の拡幅工事、築堤が行なわれ、それに合わせて後述する五石橋が建設された。堤防は右岸側を左岸側より一尺低くし、右岸堤内地は遊水池の機能を持たせていた。そのため、右岸の家々は常に舟筏を用意していた。

明治以降左岸流域が飽和状態になり鹿児島市街は右岸流域へ発達していった。明治45年から大正9年における人口の変動をみると、かつての城下町時代の中心部は減少化を示しているのに、川外の人口は50%の増加となっている。明治・大正時代の改修の資料は定かでないが、右岸流域の変化に伴う堤防、護岸工事の必要性が懸案となっていたことが昭和11年の鹿児島新聞に伺える。

甲突川の氾濫はその後も度々起こったが、抜本的改修の必要性が唱えられたのは昭和44年の水害以降である。これを契機として、昭和45年から支川の改修に、昭和56年からは本川の改修に着手している。

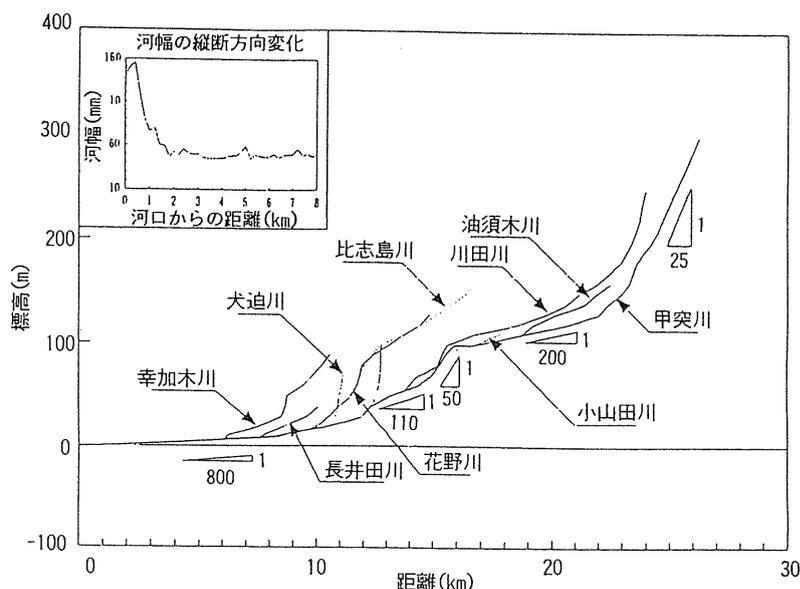
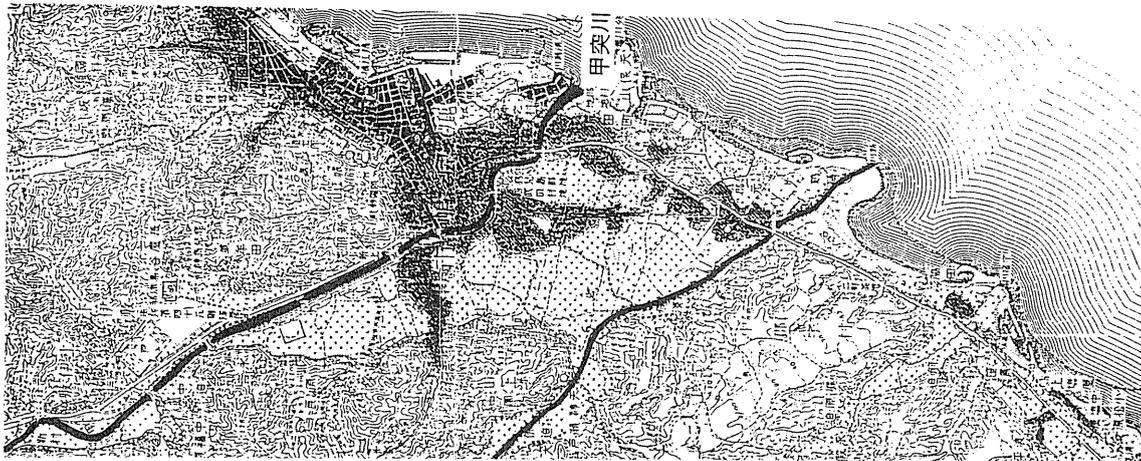
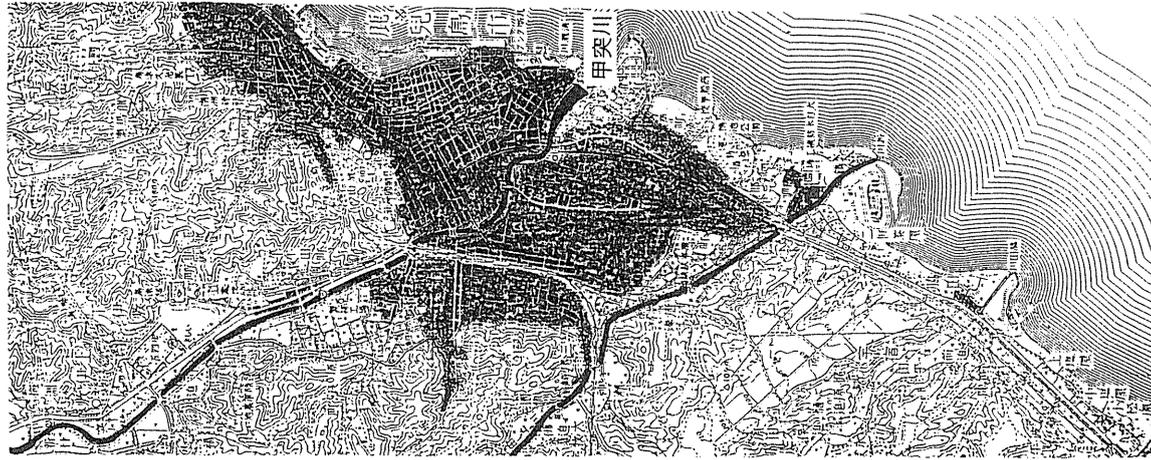


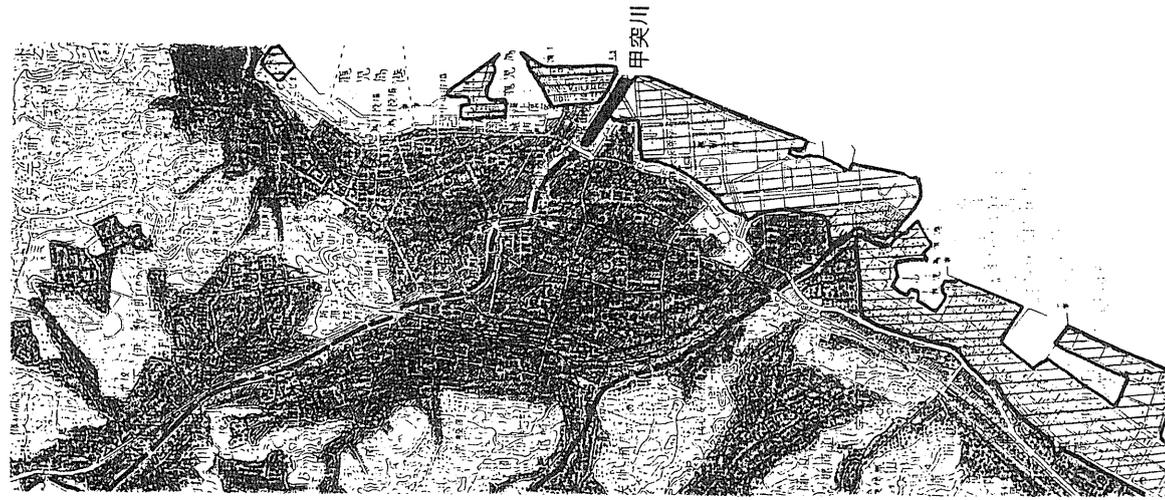
図2・2 甲突川縦断形状



明治 35年



昭和 10年



昭和 51年

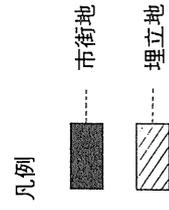


図2・3 旧版地図による流域の変遷

2.3 石橋

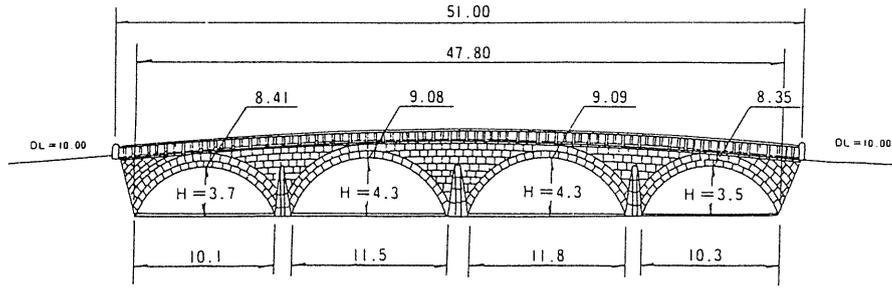
天保の財政改革によって、薩摩藩は肥後の石工・岩永三五郎を招聘し、河川改修、新田開発、道路整備等の土木事業を行った。その時に、甲突川に架かっていた橋はそれまでの木橋から石造アーチ橋に架け変えられた。これらの石橋は1845年から1849年までの5年間に毎年一つずつ架けられ、いずれも4連以上の規模を誇り、平成5年の洪水で新上橋、武之橋が流失するまで、五石橋ともついで最近まで現役として残っていた。50年間の歴史に耐えた石橋は県民の愛着も深く、なかでも城下町の表玄関であった西田橋は県文化財に指定されていた。

平成5年災害の要因の一つは石橋に流木がかかり、水位の堰上げが生じたことである。現在では治水安全

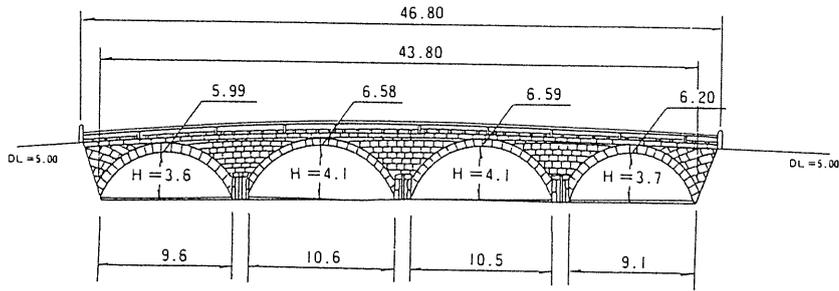
上ネックとなっていた石橋であるが、建設当初は、①上流から2番目に架かる新上橋は、城下町上流部の川幅が狭いところに位置するが、この付近の川幅を人工的にさらに狭くし、かつ右岸の堤防を左岸より低くすることにより、一定量以上の洪水を右岸側に氾濫させ、橋体への外力の軽減を図るとともに、城下町を守る遊水地の機能をもたせていること、②たとえば五橋の中で最も川幅の狭いところに位置する新上橋では、流速も大きくなるため、橋体の側面を著しく傾け台形構造とし、流勢を上方へ逃がす工夫がされているなど、橋体の安全性確保のための構造的配慮がみられること、③橋梁部の河床は石張りとし、基礎の洗掘防止と床止工の役目を持たせていること、など流域の治水施策や橋体の安全性、河床の安定性を考えて、種々の工夫がこらされていた。



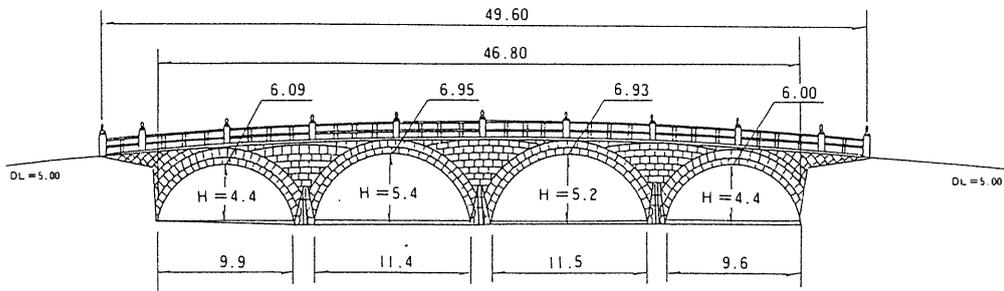
図2・4 五石橋位置図



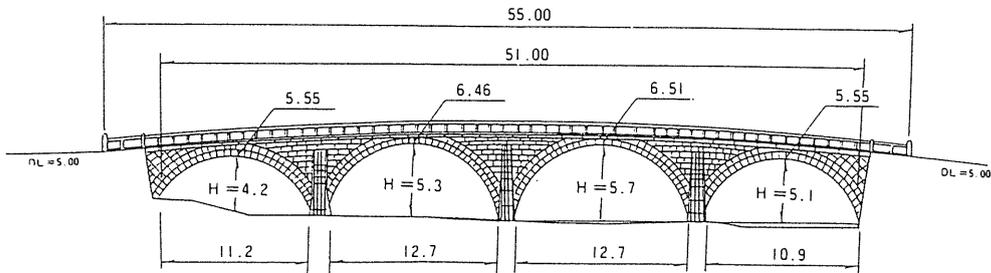
(1) 玉江橋 (1849年)



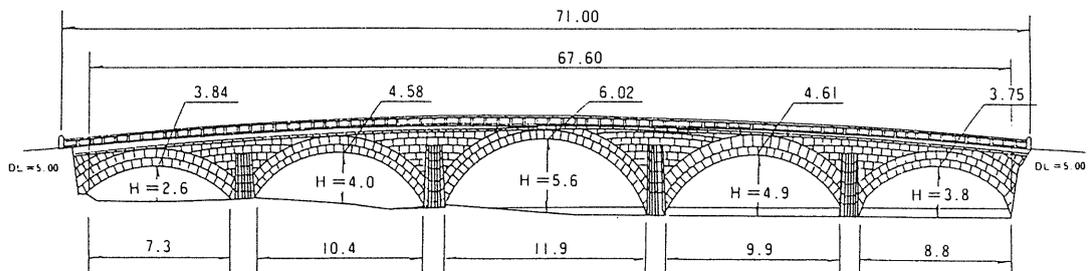
(2) 新上橋 (1845年)



(3) 西田橋 (1846年)



(4) 高麗橋 (1847年)



(5) 武之橋 (1848年)

図2・5 五石橋の構造

3. 水害特性と要因

3.1 シラス台地の流出特性

シラス台地の特性はその地質構造から浸透性、保水性が大きいことにある。長期流出については、表3・1に示した今回検討した直列4段のタンクモデル定数とわが国の平均的タンクモデル定数とを比較すれば、明確に現れている。

第1段では流出孔の定数はほぼ同様の値であるが、第2段への浸透孔の定数が甲突川ではわが国の平均的タンクモデルよりもかなり大きくなっている。また、第2段では、流出孔の高さが高く貯留が大きい傾向を示し、浸透孔の定数も第1段と同様かなり大きくなっている。

また、洪水流出は長雨が続き、地盤内が飽和状態に近づくと、急に流出率が増加すると考えられる。

3.2 シラスの侵食と土砂流出

3.2.1 シラス崩壊の輪廻

下川・地頭菌・高野³⁾は鹿児島県内約2,500箇所の調査から、シラス斜面の崩壊は、その表層土の風化のため、周期的に発生するとして、次のように説明している。

崩壊発生後13～14年：斜面崩壊跡地には全体にわたってクロマツ・ヤシヤブシなどの先駆木本植物が多数進入し、その根系は20～30cmの深さに達し、それに伴って10cm程度の表層土が生成される。

崩壊発生後約40年：先駆植生は枯死し、スタシイやカシ類などの後続植生が進入し、表層土は20～25cmとなる。

崩壊発生後約70～80年：斜面崩壊跡地の植生はスタシイやカシ類などの後続植生に遷移し、その根系は70cmの深さに達し、表層土は40cm程度となる。

風化や植生の侵入により表土厚50cmになると降雨や地震による崩壊の危険性が増大する。表土厚50cm以上になるのに要する時間は100年のオーダーである。

3.2.2 実効雨量とシラスの崩壊

土砂災害発生の危険度指数としては、累加雨量と降雨強度を軸として検討されることが多いが、シラスに関しては、地頭菌・下川⁴⁾は実効雨量を用いて検討している。実効雨量は次式で定義される。

$$D_n = a^{n-1}r_1 + a^{n-2}r_2 + \dots + a^1r_{n-1} + r_n$$

ここで、 D_n ：ある時点からn時間後の実効雨量 r_n ：n時間後の時刻雨量 a ：逓減係数である。逓減係数 a は半減期を T (時間)とすると、 $a = 0.5^{1/T}$ で求められる。地頭菌・下川によると、1994年の土砂災害と24時間半減期の実効雨量の関係は次のとおりである。

表3・1 甲突川とわが国の平均的タンクモデルの比較

段	タンク構成要素	甲突川タンクモデルの定数	わが国の一般的なタンクモデル定数
1	中段孔の高さ(mm)	50	20～50
	中段孔の定数	0.25	0.2～0.5
	下段孔の高さ(mm)	15	10～20
	下段孔の定数	0.1	0.1～0.2
	浸透孔の定数	0.5	0.1～0.3
2	流出孔の高さ(mm)	15	0～15
	流出孔の定数	0.1	0.05～0.15
	浸透孔の定数	0.15	0.06～0.12
3	流出孔の高さ(mm)	5	0～15
	流出孔の定数	0.02	0.02～0.05
	浸透孔の定数	0.05	0.02～0.04
4	流出孔の高さ(mm)	5	0
	流出孔の定数	0.002	0.001～0.004
	浸透孔の定数	0.001	0

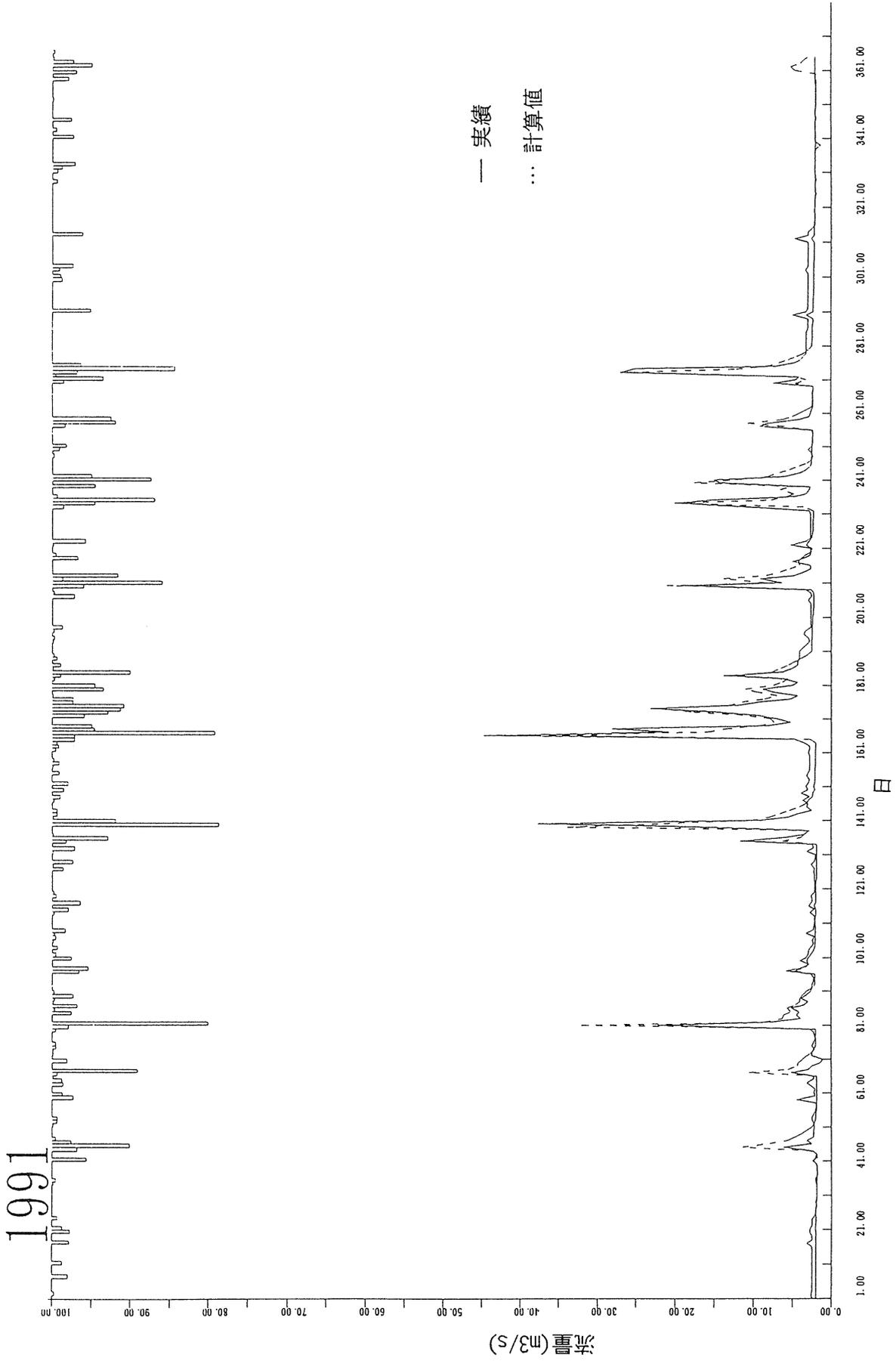


図 3・1 タンクモデルによる流出計算例

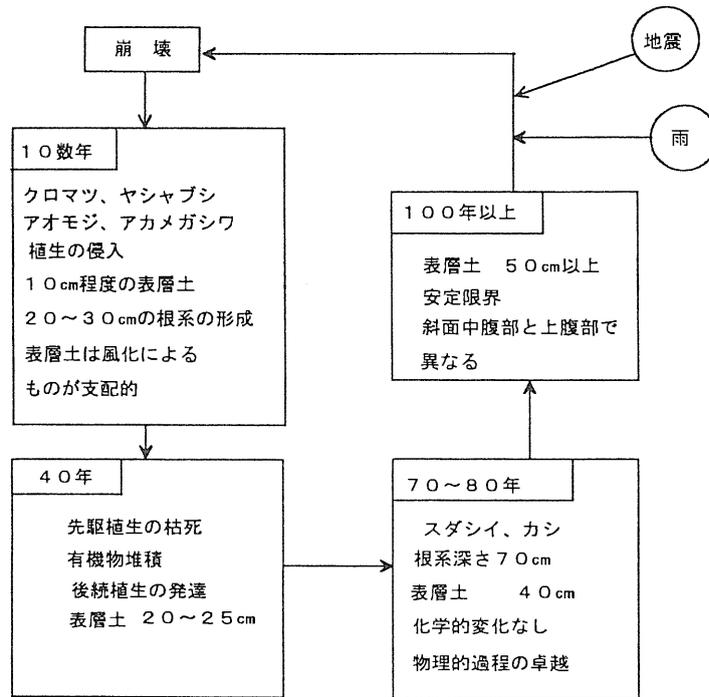


図3・2 シラス崩壊の輪廻 (文献³⁾をもとに作成)

図3・3は、災害発生地点近傍の雨量データを用いて作成したハイエイトグラフと実効雨量の時間的変化を示した例である。ほとんどの災害は、時間雨量40～110mmの強雨時、あるいはその数時間後に発生している。降り始めから災害発生までの累加雨量は150～700mmと様々であるが、実効雨量では、それが200mmに達したときに災害のほとんどが発生している。

3.2.3 流出土砂の物理特性

河床材料調査はこれまでに昭和59年と平成5年災害後の2回行われており粒径の変化はほとんど見られない。図3・4の細実線は平成5年の結果であるが、50%粒径 d_{50} は、縦断的に大きな変化はなく、0.7mmから3.0mmの間にばらついているが平均的にみれば1mm程度となっている。0.1mm以下の微細成分はほとんど存在していない。最大粒径は、20～40mmであるが、これはボラと呼ばれる軽石である。河床の大部分を占める0.1～数mmの粒径はシラスであり、その比重は通常の砂より10%程度小さく2.4～2.5程度である。図中太実線で示したものはシラス斜面の崩壊前の粒度である。粒径0.1mm以下の微細成分が約20%ある。また、破線は平成5年洪水の氾濫の粒度であり、ほとんどが微細成分である。

3.3 1993年水害の要因

「平成5年8月6日豪雨」と命名された集中豪雨は、鹿児島市北部からその北西部の郡山町にかけて特に強かった。甲突川上流の郡山町役場において日雨量が384mm、鹿児島地方気象台で259mmであり、しかも、時間最大雨量が郡山町役場で99.5mm(18時～19時)と短時間に極めて強い雨が集中した未曾有の豪雨であった。このため、急激に河川の水位が上昇して、下流の市街地から12kmにわたり激甚な浸水被害を受け、家屋の床上浸水や水道施設の被災、橋の流失などにより交通、電気、通信、水道等ライフラインが途絶するなど、未だかつて経験したことのない災害となり、市民生活に大きな混乱を与えた。また、この豪雨で前述の5石橋のうち新上橋と武之橋とが流失した。

今回の甲突川の氾濫は、県が実施した雨量、被災水位、浸水区域等についての調査・解析ではピーク流量は約700 m^3/s と推定され、河川の流下能力300 m^3/s を大きく越える洪水であったことが主原因である。さらに、上流部の山腹崩壊等により発生した多量の流下物が間隔の狭い石橋等の橋梁にひっかかり、これが水位を堰上げたこと、多量の土砂が河床と水位を上昇させたことが要因となり、浸水面積424ha、浸水家屋数約12,000戸などと大きな災害となった。

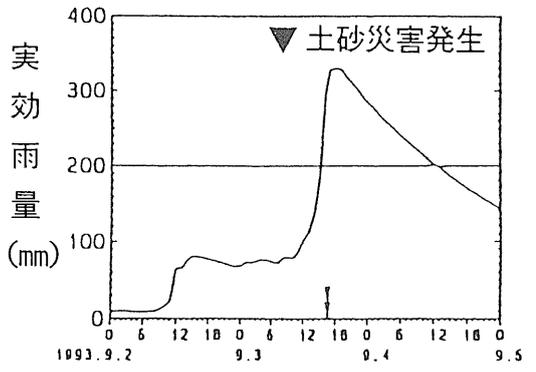
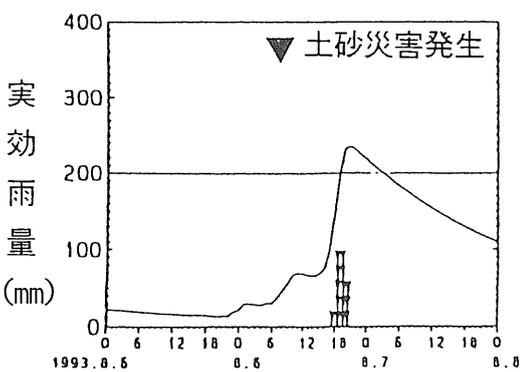
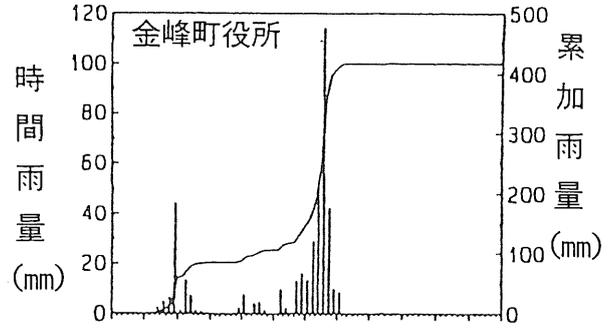
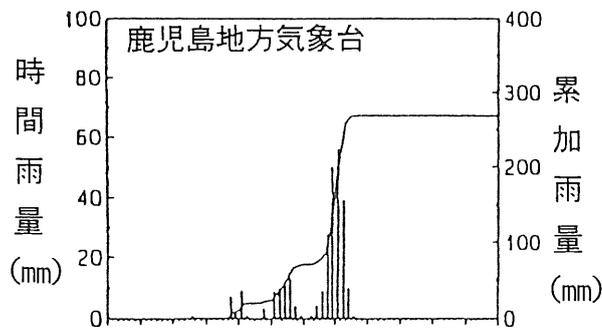
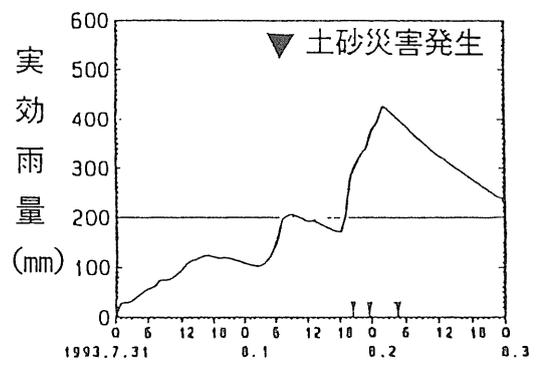
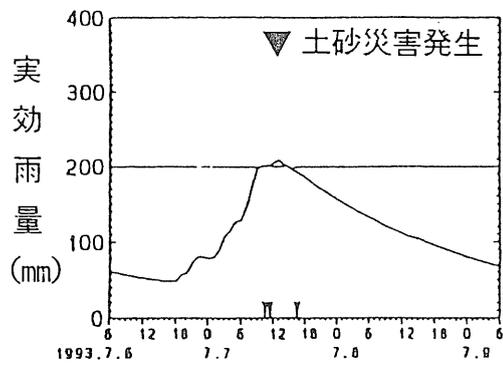
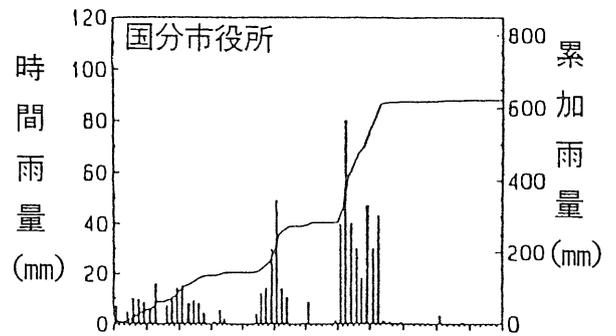
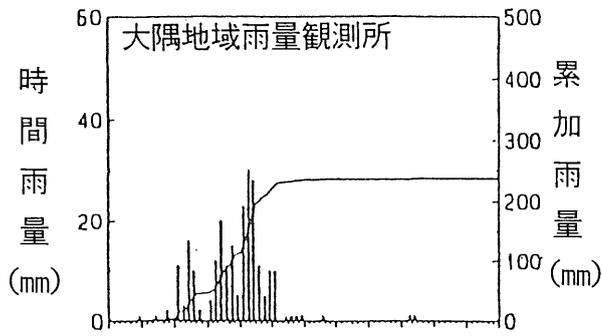


図3・3 土砂災害発生時の降雨状況と実効雨量^①

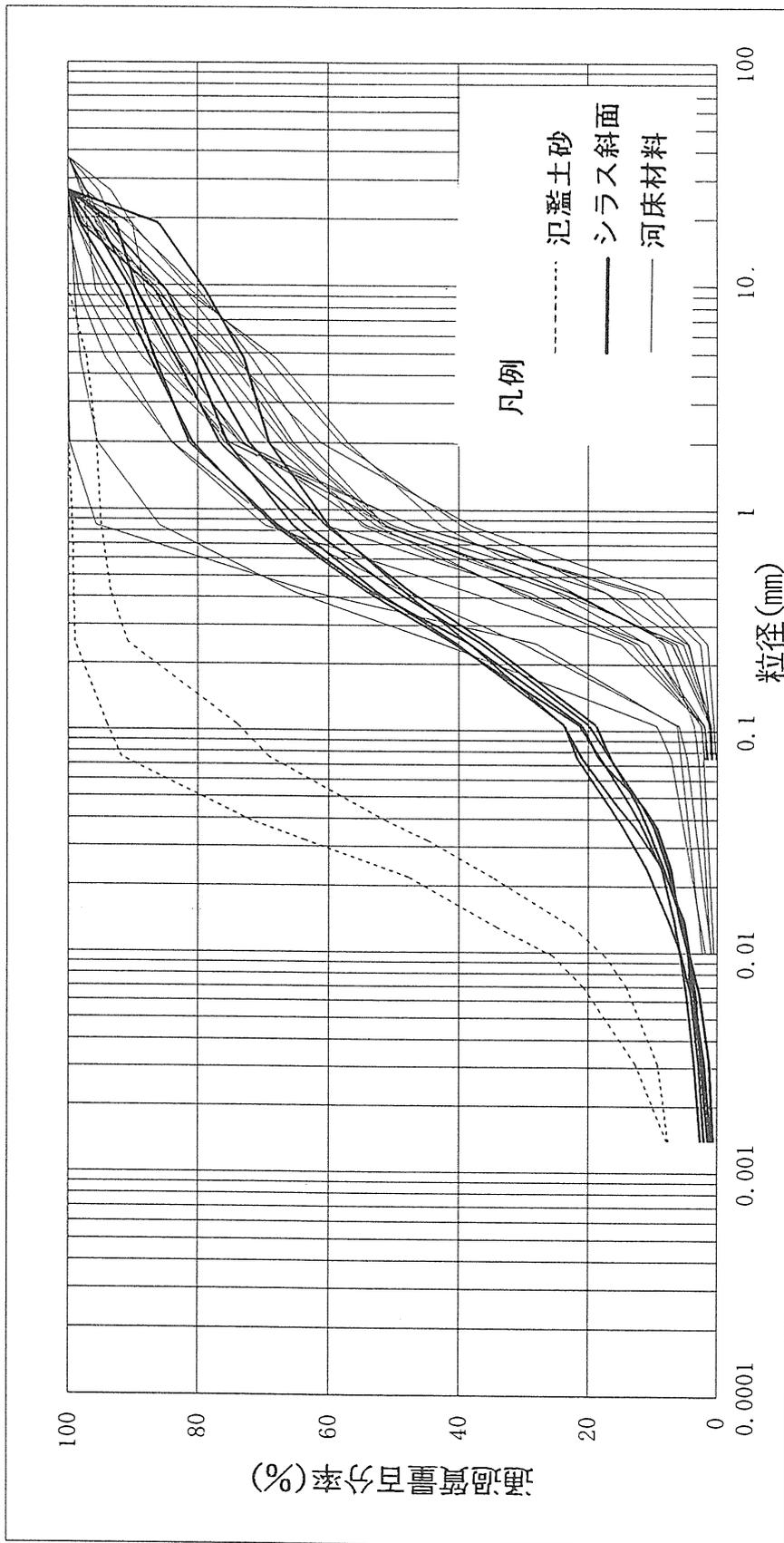


図3・4 河床材料, シラス斜面, 氾濫土砂粒度分布

3.4 災害時における土砂収支

平成5年水害の特徴は、強い豪雨により、流域のシラス斜面が3,600箇所も崩壊し多量の土砂が流出したことにある。山間部の河床勾配は1/50~1/100の急勾配のため、土砂流送能力は十分にあり、川に流入した土砂は途中の盆地にも氾濫したが、大部分は下流まで流下し河道内に堆積したり、氾濫して市内に堆積した。この災害時の土砂収支を図3・5のように推察した。なお、数値は空隙を控除したものである。

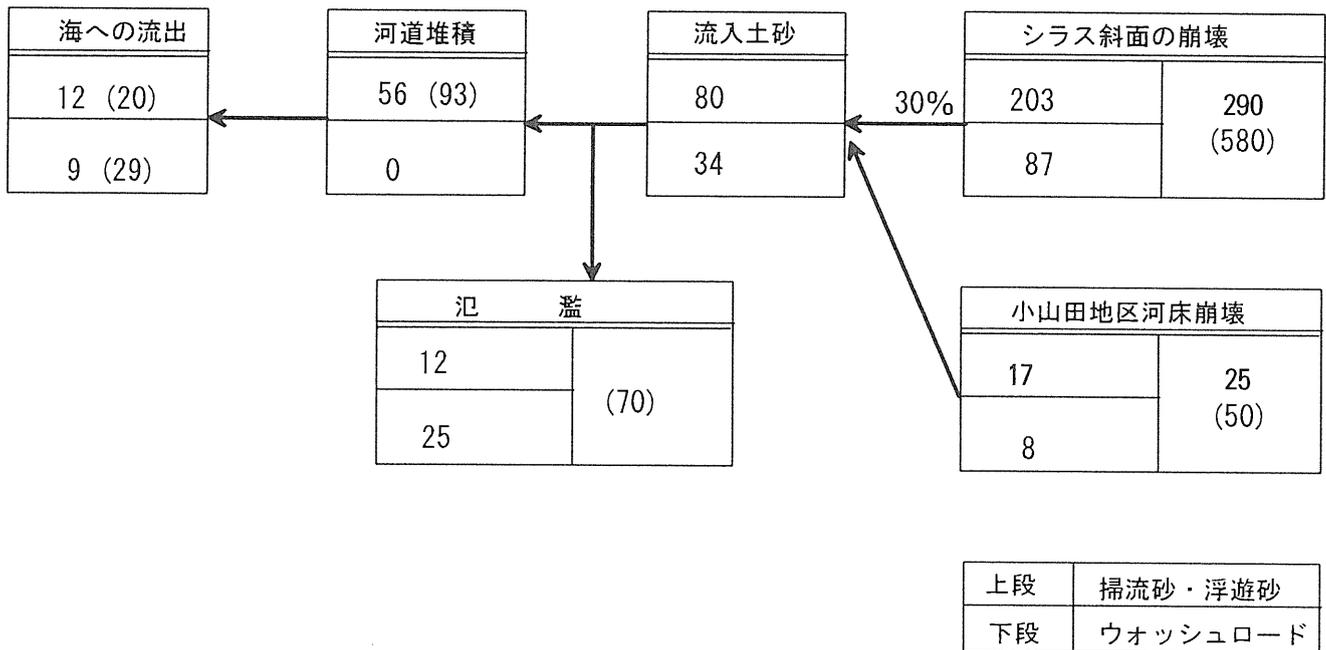
流域の斜面崩壊による生産土砂量は下川ら⁹⁾の調査によると $290 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、県の調査による小山田地区の国道埋没が $25 \times 10^3 \text{ m}^3$ である。地山の粒度構成から、その30%がウォッシュロードまたはボラ（軽石）であると推定される。河川に流入したのは斜面崩壊土砂の30%と小山田地区の国道陥没量全部であり、合計 $114 \times 10^3 \text{ m}^3$ となる。この結果をもとに洪水の総流出量 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ に対する平均土砂濃度を算出すると、ウォッシュロードが約0.2%、浮遊砂が約0.5%となる。このうち氾濫したものが $37 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、河道に堆積したものは $56 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、海へ流出したものは $21 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、である。な

お、市内氾濫土砂量は災害後の土砂排除実績であり、その大部分はウォッシュロードである。河道堆積量も災害後の測量結果による実績値である。海への流出土砂は流砂量算定式による推算であり、斜面崩壊土砂の内、河川に流入した土砂の率30%は以上の土砂収支から逆算したものである。

以上の土砂収支の妥当性を次のようなデータを用いて調べてみよう。

被災時に市内のビルの地下室にたまった水量と土砂量が調べられている。それによると、氾濫した濁水の土砂濃度は0.7%、そのうちウォッシュロード成分は0.5%程度と推定されている。土砂濃度はほぼ流量に比例することが知られており、氾濫時の流量と洪水の平均流量から考えて、氾濫時の土砂濃度は平均濃度の2倍程度と考えられる。したがって、土砂収支の検討から推定されたウォッシュロードの洪水平均濃度0.2%という値は妥当なものであろう。

以上の結果から、河道の土砂流下能力を越える供給があった場合には、河道内に土砂が大量に堆積することがわかり、河道の安定性の検討の重要性が認識される。



()内は空隙を含む

単位： 10^3 m^3

図3・5 災害時の土砂収支

4. 河道整備の基本方針

平成5年8月洪水のピーク流量は前述の通り700 m^3/s と推定されている。また、甲突川の治水計画の基本高水流量は1,000 m^3/s （超過確率 1/100）とされている。これに対して現在の甲突川河道の流下能力は300 m^3/s しかなく、洪水に対する安全度を早急に向上させることが必要である。

洪水に対する安全度を向上させる方法には、一般的にあって、洪水の調節、流域における雨水貯留、遊水地による貯留、河道の拡幅・掘削や堤防の嵩上げなどによる流下能力の向上、河道のバイパスや分流などのハードな手法と適切な土地利用、避難・予警報などのソフトな手法があり、実際には、それぞれの土地の自然的条件と社会的条件とに応じて上の方法を適当に組み合わせ総合的な対策が立てられる。

甲突川の場合には、沿川の市街化が進んでいる状況で全面的な拡幅が困難なことから、河床をできるだけ掘り下げて流下能力を高めることとして、基本高水量1,000 m^3/s のうち700 m^3/s を河道における計画流量、残

り300 m^3/s を上流ダムや遊水池で調節することとされている。

なお、150年の歴史に耐え、地元の人々の愛着の深かった五石橋のうち、二石橋が平成5年洪水で流失し、残った三石橋も、洪水に対する河積阻害が大きいことや橋自身の安全性等の問題からやむなく別の場所に移設して保存することとされた。

河川の河床は絶えず変動する。掘削された河道は一般に堆積しやすい傾向にある。そこで、著者らは、流域における土砂収支の検討と土砂水理学的手法を用いて計画されている掘削河道が今後どのように変動していくかについて検討を行う。さらにその結果に基づいて洪水を安全に流下させるための河道の維持管理の方法についても検討を行う。

川づくりにおいては、洪水を安全に流下させるようにすることはもとより、親水性や景観、さらに生物に配慮することが重要である。

そうした観点からの河道の整備方法についても検討を進める。

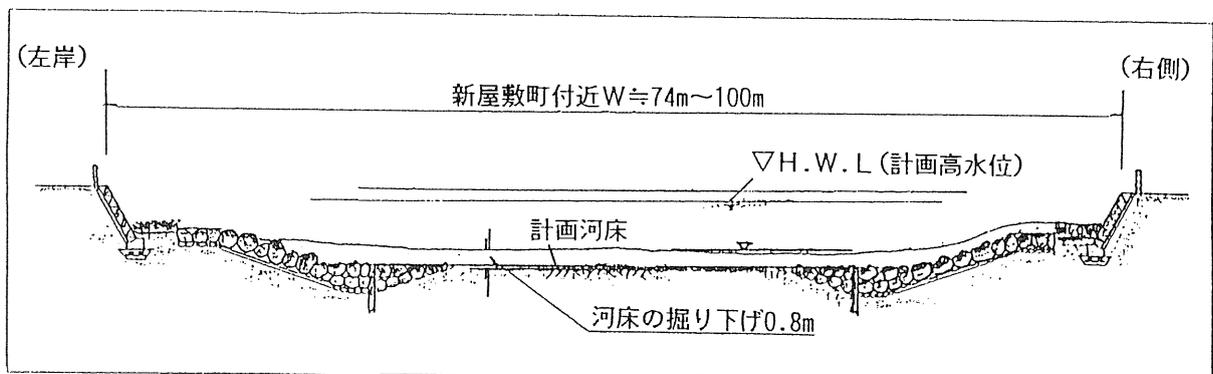
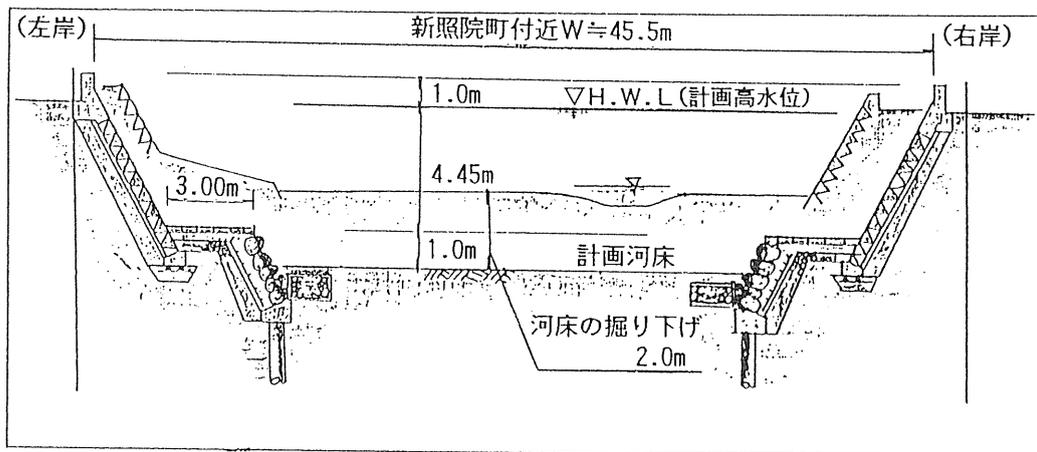


図4・1 激特区间標準横断面図

5. 河道の安定性の検討

河道が安定するとは、供給土砂量と河道の土砂輸送量がバランスすることである。河道の安定性の検討のためには、供給土砂量の検討と河道の土砂輸送量の検討を行う必要がある。ここでは、供給土砂量の検討として、近傍ダムの堆砂実績、実効雨量と崩壊土砂の関係、河道の流送能力の3つの観点から検討し、一次元河床変動シミュレーションによる計画河道の河床形状将来予測を行うことによって計画河道の安定性を検討した。なお、予測計算に先立ち、過去の河床変化を再現計算することにより、一次元河床変動シミュレーションモデルの検証を行った。

5.1 供給土砂量

5.1.1 近傍ダムの堆砂実績による検討

図5・1は県内ダムの堆砂実績である。芦田・奥村によれば、比堆砂量 q と流域面積 A は $q \sim A^{-0.7}$ という関係がある。これを用いて甲突川流域の生産土砂を推定すると次のとおりである。①近傍のシラス地帯に設けられた竹山ダムの実績から、 $q = 150 \text{ m}^3/\text{km}^2/(\text{空隙を含む})$ である。②県内最大の値を示す高隅ダムの実績からは、 $950 \text{ m}^3/\text{km}^2/(\text{空隙を含む})$ である。年間堆積土砂量としてはそれぞれ $16 \times 10^9 \text{ m}^3/年$ 、 $101 \times 10^9 \text{ m}^3/年$ となる。空隙を考慮すれば $\lambda = 0.5$ としてそれぞれ $8 \times 10^9 \text{ m}^3/年$ 、 $50 \times 10^9 \text{ m}^3/年$ である。

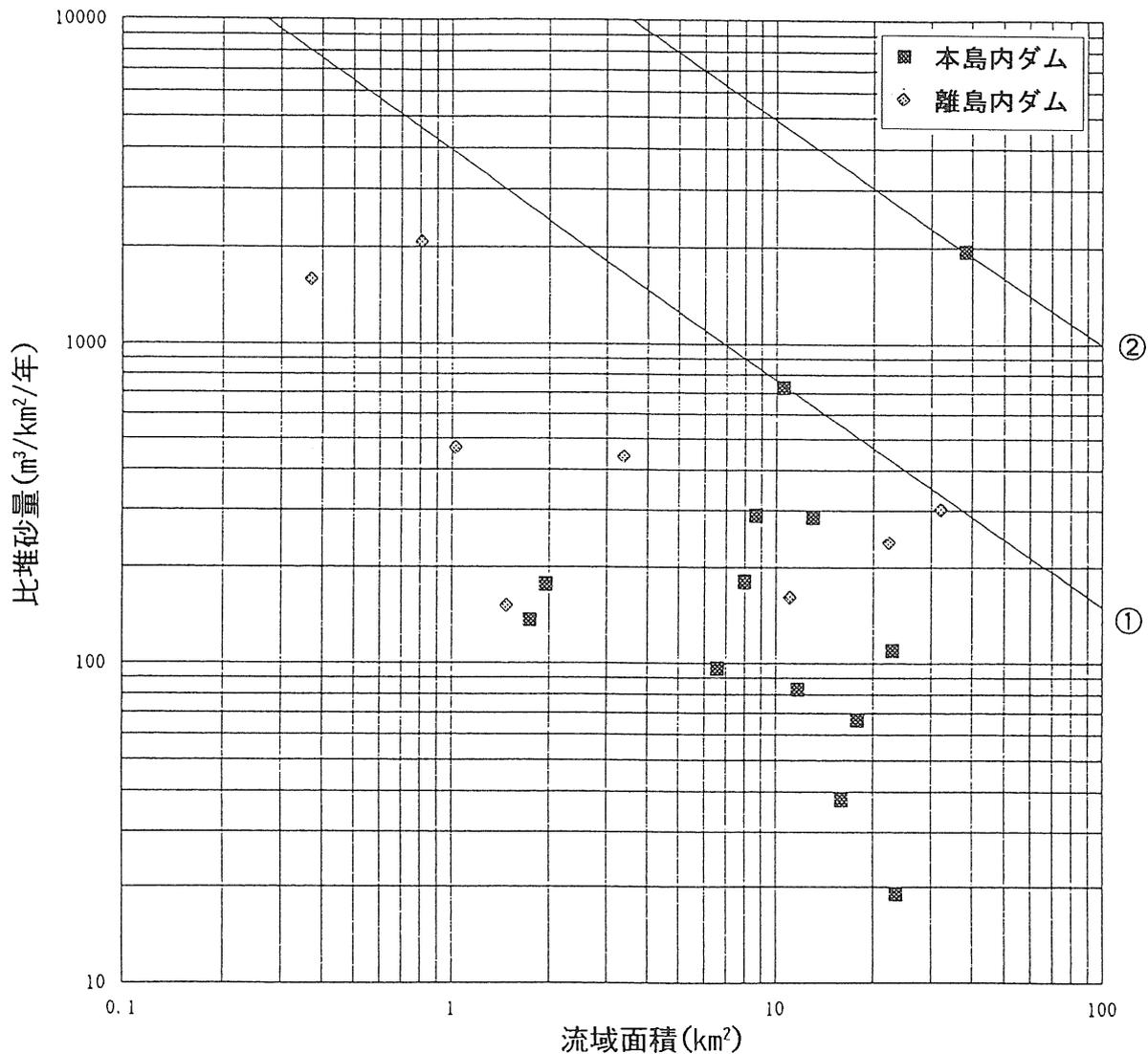


図5・1 流域面積と比堆砂量

5.1.2 実効雨量と崩壊土砂の関係による検討

県内での崩壊土量のデータとしては、先の平成5年災害時のものと昭和61年梅雨期末集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関するもの⁹⁾がある。

図5・2は上に述べた二つのデータを用いて作成した実効雨量（半減期24時間）と崩壊土量の関係である。昭和61年の災害は鹿児島市内の局部的な集中豪雨によるものであるが、これを全流域に拡大適用した。崩壊の発生は実効雨量180mm程度で発生することになる。図5・2を用いて昭和45年から平成5年までの雨量データを用いて崩壊土量を算定すると、24年間の崩壊土量は $2,506 \times 10^3 \text{ m}^3$ ($104 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$, $985 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$)となる。土砂流出率を8/6災害の土砂収支で検討した0.3とし、空隙率を0.5、ウォッシュロードとボラの含

有率を0.3とすると流出土砂はそれぞれ $11.0 \times 10^3/\text{年}$, $10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ となる。

5.1.3 河道の流送能力による検討

24年間の流況による甲突川支川合流後の土砂流送能力は $413 \times 10^3 \text{ m}^3$ であり年間 $17 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$, $162 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ である。

5.1.4 まとめ

以上3つの観点から流域の生産土砂量を検討したがいずれもオーダー的に良く一致している。ここでは5.1.3河道の土砂流送能力による検討結果を以下に述べる河道の安定性の検討に用いる給砂条件として採用した。

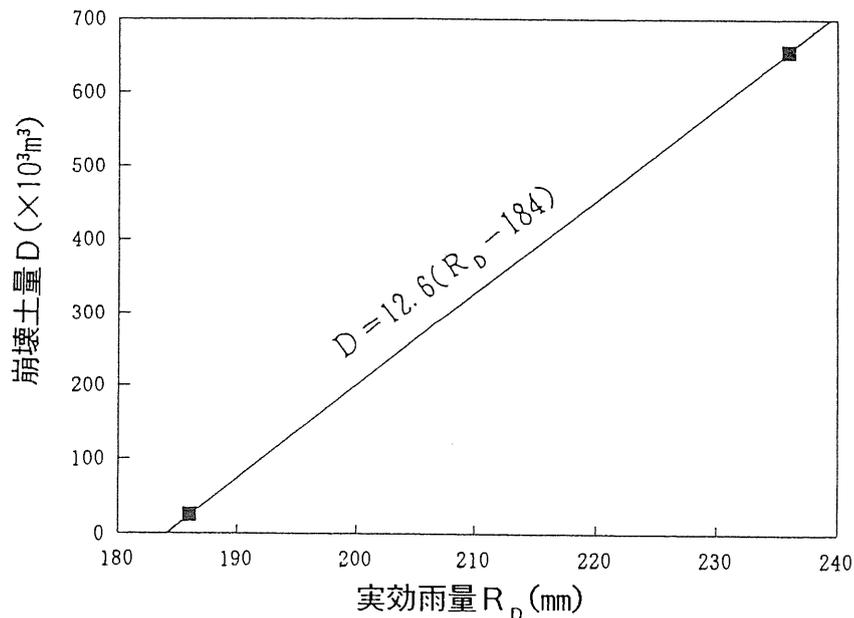


図5・2 実効雨量と崩壊土砂量

表5・1 生産土砂量検討結果のまとめ

検討方法	生産土砂量 $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$	比生産土砂量 $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$	評価
ダム堆砂実績	8~50 (16~101)	75~475 (150~950)	上限値は高隅ダムであり、流域条件が甲突川と異なる。
実効雨量と崩壊土砂量	11 (22)	103 (206)	データが少ない
河道の流送能力	17 (34)	162 (324)	採用

上段：空隙なし (下段)：空隙を含む $\lambda=0.5$

5.2 河床変動モデルによる河道の安定性の検討

5.2.1 シミュレーションモデルの概要

河道の安定性は数値シミュレーションによって検討した。モデルはレジーム則によるミオ筋形成を考慮できる一次元河床変動モデルであり、水理諸量の算定は任意断面不等流計算法を用い、流砂は掃流砂、浮遊砂を考慮し算定式は芦田・道上式を用いた。なお、シラスの比重は $\sigma = 2.5$ とした。また、土砂供給条件は、土砂生産源に近い河道では洪水流量と流砂量の関係は本来一義的に決まる関係がなく、非平衡的な要素の強い現象であるが、本検討の計算区間上流端は河床の大崩壊のあった地点から7 km下流であり、計算区間上流端での流砂は平衡状態にあるものと仮定し、供給土砂量を流量の関数として求めた。つまり、供給土砂量は、上流端での粒径別の流砂量に見合うものとした。河道縦断測量結果がある昭和45年から昭和56年の間の再現計算を行い、モデルの妥当性を検証した。なお、再現にあたっては、昭和45年から昭和56年までの浚渫実績1,500 m³/年を毎年考慮している。昭和45年から昭和56年までの再現計算結果を図5・3に示す。計算値と実測値は良く一致している。

5.2.2 予測計算（計画河道の安定性）

現況河道及び計画河道に対し、昭和57年から平成5年の流況を用いて12年間の将来予測計算を行った。計画河道では給砂量として、上流端の現況土砂流送能

力の他に、30%、60%の供給土砂抑制を行った場合についても計算した。

図5・5は河道内の土砂堆積量の経年変化を示したものである(空隙を含む)。Case 1（現況河道、供給土砂抑制なし）では12年間で約5万 m³の堆積となった。これは現況河道が堆積傾向にあることを示している。実際には寄州の浚渫が行われておりこの間の河道は安定していた。計画河道では、12年間の河道内堆積土砂は、土砂抑制を行わないCase 2が約10万 m³、30%抑制のCase 3が約5万 m³、60%抑制のCase 4が約1万 m³となった。

5.3 供給土砂の制御と河道の維持管理

予測計算の結果、供給土砂量を30%抑制することにより、計画河床は現況河川における浚渫量（3,000～5,000 m³/年）と同程度の浚渫量で計画河道を維持でき、60%まで抑制することにより浚渫なしで維持できることがわかった。計画河道の年間堆積量1～2万 m³程度の土砂の浚渫は河川管理上特に難しいことではないが、シラス地帯という流域の地形地質条件を考えれば、土砂災害の防止、流木の抑制という観点からも河道内浚渫と上流域での抑制対策を実施することが望ましい。これについては、現在、砂防・治山・急傾斜地崩壊対策等の事業を総合治水対策として位置づけ、取り組んでいる。

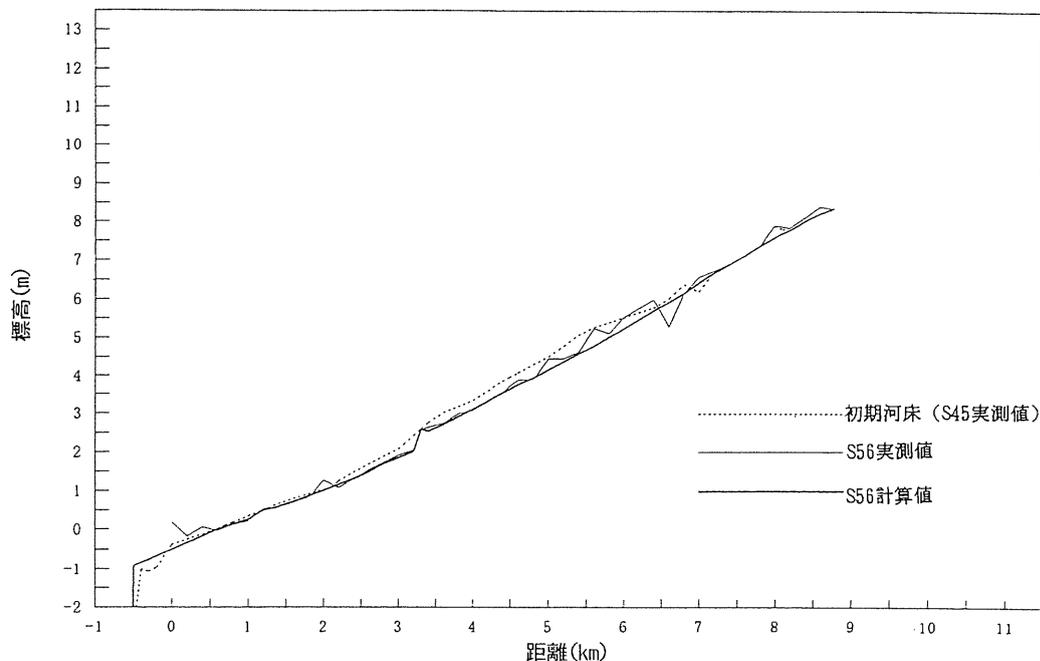


図5・3 再現計算結果（S45～S56）

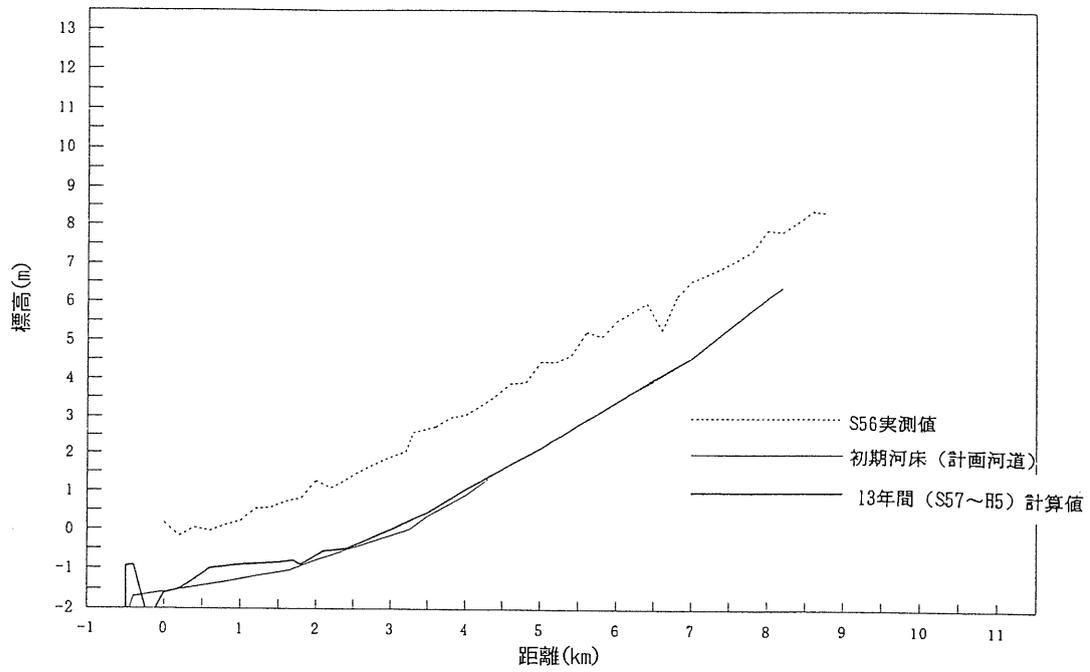


図5・4 計画河道予測計算 (S57~H5年の流況, 供給土砂30%抑制)

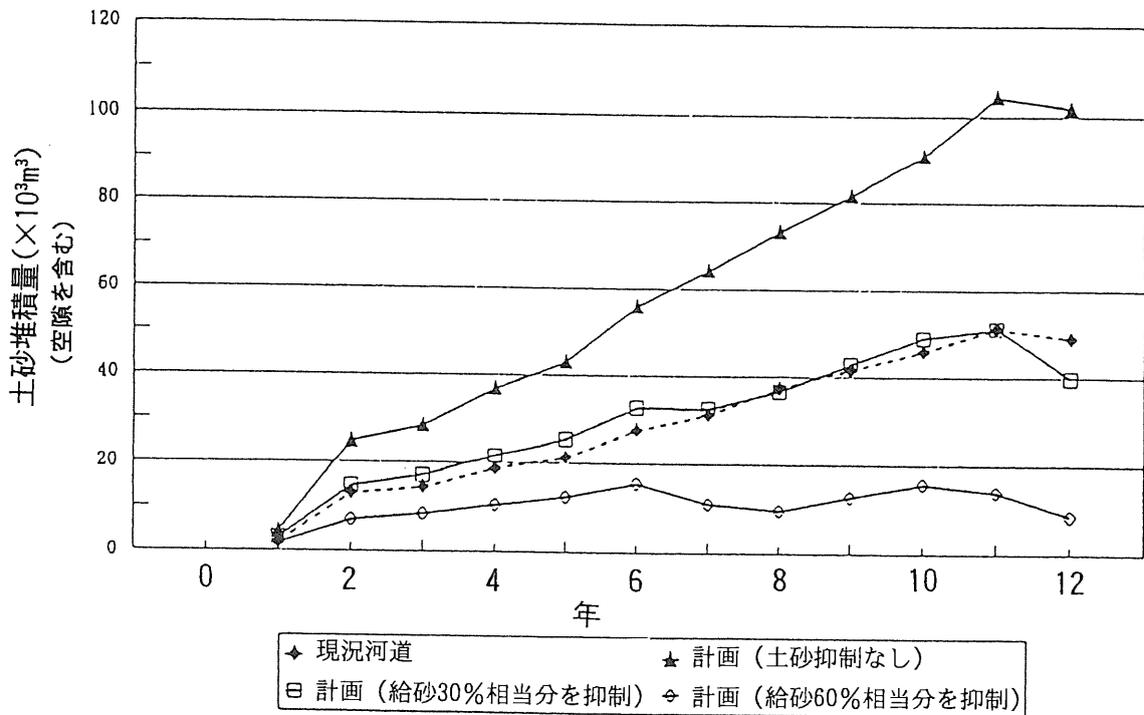


図5・5 河道内土砂堆積経年変化予測結果

6. 水辺環境の整備

表6・1 河道, 流域特性と環境整備方針

川づくりの基本は、人のニーズと川のもっている自然特性の調和にある。水辺環境整備においても、まず、上に述べた河道の安定性、洪水に対する安全性を調査した上で、流域の歴史特性、社会条件、生態条件を考慮して環境整備方策を検討した。河道を流域の社会・歴史・景観特性、河道特性、生態特性から四つの区間に分け、それぞれの整備方針を表6・1のように設定した。それぞれの区間には整備拠点を設けたが、その整備（案）を図6・1に示す。

区間	社会・歴史・景観特性	河道特性	生態特性	整備方針
① 河口～ 武之橋	・正面に海と桜島を望み、大自然に向かい合える。 ・病院、公園、処理場等の公共施設が両岸に立地している。	・感潮区間であり、川幅も70～150mと広い。 ・河床勾配は約1/3,000～1/1,500と緩く、干潟が発達している。	・水鳥の餌場となり、おり飛来数も多い。	・大自然へのアプローチとしての親水性と鳥類の生活環境確保との調和を図る。
② 武之橋 ～6k	・鹿児島市の中心部に近く市の景観形成重点地区に指定されている。 ・石橋があった頃は歴史を感じさせる区間であり、維新ふるさと館がある。 ・両岸は公園となっている。	・河道は屈曲して流域のあり、水裏には砂州が発達している。 ・川幅は50m程度、河床勾配は1/800程度である。	・豊富ではないが、オイカワ、コイ等の魚類が生息。	・歴史を感じさせる風情ある河畔とする。 ・市民が集える空間とする。
③ 6k～ 石井手堰	・流域は市街地中心部からやや離れ、住宅地となっている。	・河道はほぼ直線であり、川幅、河床勾配は区間②とほぼ同じである。	同上	・地域住民のためのやすらぎの水辺空間を創出する。
④ 石井手 堰上流	・山地流域区間で国道3号線が併走している。	・河床勾配は1/100の急勾配である。	・アユの放流が行われている。	・瀬・淵・河原を保全し、自然に親む空間とする。

7. 結 語

参考文献

甲突川の治水の歴史、水害特性の調査、河道の安定性の検討を行い、次のことが明らかになった。①江戸時代初期城下町の建設に伴う河道の付け替えと右岸の遊水池化、明治以降の右岸の都市化と災害の激化とその対策等、治水事業は流域の社会的ニーズを反映して行われる。②そのような流れの中で、150年の歴史に耐えた五石橋は現役を退かざるを得なかった。③現在の河道計画は、河床掘削によって流下能力を確保するものであるが、上流部での砂防・治山・急傾斜地崩壊対策事業等による生産・流出土砂の抑制や河床の維持管理が必要である。④河道の安定性を確保した上で、生態系、親水性に配慮した環境整備を行う必要がある。

甲突川は、川づくりの歴史も古く、また、シラス地帯という特殊性もあったが、全国の中小河川の中ではじめて、本格的に流域の土砂管理、河道の安定性を検討した例である。今後の参考になれば幸いである。

なお、本論文の作成に当たっては甲突川の河道計画整備委員会報告を参考にさせていただいた。委員の鹿児島県立短大・田川日出夫、鹿児島大学・税所俊郎、下川悦郎、浅野敏之、鹿児島高専・疋田 誠、大阪府立大学・増田 昇、鹿児島県環境技術協会・内山 裕、作家・奈良迫ミチ、消費生活アドバイザー・石窪奈穂美及び建設省大隅工事事務所・南 哲行の皆様に謝意を表します。

- 1) 原口虎雄：鹿児島県の歴史，山川出版。
- 2) 維新前土木史
- 3) 下川悦郎・地頭 隆・高野 茂（1989）：しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測，地形第10巻4号，PP 267-284，1989
- 4) 地頭 隆・下川悦郎（1994）：土砂災害の実態，鹿児島豪雨災害特別シンポジウム講演概要集，砂防学会，pp30，1994年4月。
- 5) 地頭 隆，下川悦郎他（1994）：空中写真判読による斜面崩壊，土石流の分布と土砂量，鹿児島大学1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査報告書，pp 99-113，平成6年3月。
- 6) 地頭 隆，下川悦郎（1987）：1986年7月10日集中豪雨による鹿児島市内シラス斜面崩壊の実態と特徴，1986年梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究，pp14-26，昭和62年3月。



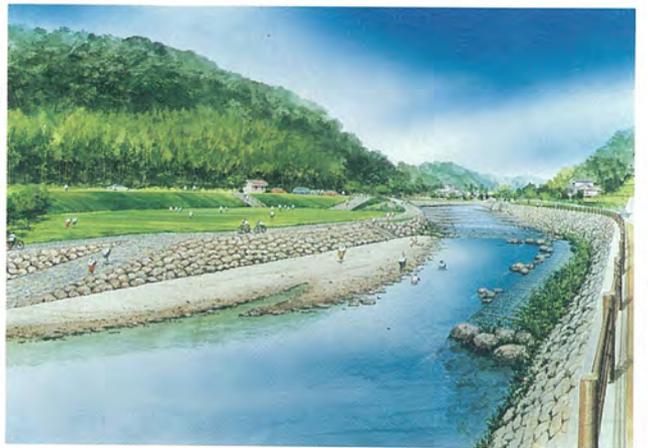
区間①



区間②



区間③



区間④



甲突川下流部緩傾斜玉石積護岸構造図
区間① 標準横断 護岸構造図



甲突川一般部自然石護岸構造図
区間②～区間③ 護岸構造図

図6・1 河道環境整備（案）例

より良い河川環境を形成していくための地域との連携・協調について

斎藤 正勝*

要 旨

近年の国における環境政策の推進と関連して、地域との連携・協調の重要性が高まってきている。河川環境に関する業務を行う当財団としては、環境と密接な関わりを持つ重要な動きとしてこのことに注目しているのは当然であるが、ハード、ソフトを組み合わせた面的かつ総合的な河川施策の推進という観点からも大いに関心を持っている。

本稿では、業務を通じて得られた知見を踏まえ、地域におけるコミュニケーションの意義、河川管理者と地域とのコミュニケーション、子供たちへのアプローチ、地域への情報提供をテーマに考察し、流域交流、住民参加（外国）のテーマについても、その現状を事例によって示した。

1. はじめに

近年、国民の環境に対する関心の高まりとともに、建設行政においても、環境への取り組みが政策課題として大きくクローズアップしてきた。平成6年1月に策定された環境政策大綱では、「環境」を創造し保全することが建設行政の本来の使命であることを認識し、「環境」を建設行政において内部目的化するという基本的な考え方が示された。さらに河川行政に関しては、平成7年3月に、「今後の河川環境のあり方について」河川審議会からの答申がなされ、今後の河川環境の保全と創造の基本方針およびそのために推進すべき施策が明らかにされた。

このような最近の環境をめぐる動きの中で注目すべきことは、地域との緊密な連携・協調が重要視されていることである。環境政策大綱では、環境政策の推進体制として、国民の理解を得るための行政から国民への情報提供、地域からの情報提供システムの構築、ボランティア活動に対する支援強化等があげられている。また、河川環境に関する河川審議会の答申では、今後積極的に取り組む必要がある新たな3つの課題の1つ

として、地域住民や地方公共団体との連携・協調があげられ、基本方針として、河川と地域の関係についてその再構築の必要性が明示された。さらに推進方法として、河川環境流域協議会（仮称）の設置、合意形成のあり方についての検討、地域とのコミュニケーションの充実、河川に関連する情報の収集・発信等、推進すべき具体的な取り組みの方向が明らかにされた。

水循環（量・質）に係わる流域の一体性、地域づくりと川づくりの密接な関係、非常時における地域の一体的な対応等、本来的に河川行政は、河川が地域に密着した共有財産であることを認識し地域との緊密な連携のもとに進められるものであるが、近年の環境問題のクローズアップはこの関係を一層重要なものとしよう。河川環境は地域住民にとって生活環境と密接に関係する極めて日常的なものであるため、その施策の推進は地域とのコミュニケーションを通じた合意が不可欠な要件となってくるのである。このことは、環境施策のみにとどまらず総合的な河川施策を流域全体に展開していくうえで極めて重要なことである。したがって、河川管理者は、地域との将来にわたる継続的なコミュニケーションの構築、さらには地域から流域全体へと広がるコミュニケーションの構築を目指し、今後、積極的な取り組みを展開していく必要がある。

（財）河川環境管理財団では、河川整備基金の助成事業、あるいは受託事業の「河川管理者と地域のコミュニケーションのあり方に関する研究」、「流域交流懇談会」、「河川と教育に関する懇談会（水辺の楽校プロジェクト）」等の業務を通じて、地域との連携・協調に資する知見の蓄積が進みつつある。ここでは、得られた知見を踏まえ、以下に若干の考察を試みてみたい。

2. 地域におけるコミュニケーションの意義

地域との連携・協調が形成されるベースとなるのはコミュニケーションである。コミュニケーションは地域におけるその意義を充分踏まえて進めなければならない。したがって、まず地域におけるコミュニケーショ

* 斎藤 正勝 (財)河川環境管理財団 常務理事

ンの意義を明らかにしておくことが必要である。

坂本慶一氏¹⁾は、農村地域における地域複合体 (regional complex) の存在と地域農業の革新との連関に関する研究を通じて、地域の活性化には地域複合体の形成が極めて重要であると指摘している。「地域複合体 (regional complex)」とは、農村地域における、もともと異なった構成原理と存在理由をもつ技術・経済・社会・行政にかかわる諸集団または諸組織が、地域資源の新結合の遂行によって地域目標を実現するために、相互に協同のネットワークを複合的、重層的に形成している動態的な地域システムであると定義されている。

この定義だけでは分かりにくいので、地域複合体の形成により非常に地域が活性化したといわれている岩室の事例²⁾(奈良県天理市)を以下に紹介する。岩室では、作付方式の計画的統一、トラクターの共同利用、各種作業の協定、学習会、検討会、先進地視察、農休日の協定実施、料理講習会、レクリエーションなどを通じて集落ぐるみの地域共同システムを形成しており、集团的田畑輪換システムを集落住民全体の連帯と共同に基づいて実施しているところにその特色がある。図2.1にその推進構造図を示す。ここで中心的な役割を果たしている共栄クラブ(任意団体)は、自治会と農事実行組合との中間にあって、両組織と部分的に重複した形で位置する。このクラブの会長は農事実行組合長を兼ね、副会長は自治会議員を兼ねることになっている。ここには集団栽培区の設定、生産諸資材の共同購入、生産物の共同出荷などを担当する営農部、農業機械の共同利用を担当する機械部、病虫害の共同防除を担当する防除部がある。また、3部共同で新技術の開発と導入、講習会や研究会の開催、農休日の実施などを協議・運営している。つまり、共栄クラブは農事実行組合の営農部門を担当する形をなしているとともに、自治会に代表される地域住民の意向に沿って運営される仕組みになっている。共栄クラブ、自治会、実行組合の役員はいずれも集落総集会において選出される。このように岩室では、集落内部の3つの伝統・機能諸集団(自治組織)が相互に重複し合いながら有機的な一つの結合体を作り、これを外側から支援、強化する形で行政機関や農協(農業研究会は農協の下部組織)が直接・間接にネットワークを形づくりながら、地域農業の推進という目標実現のために全体として一つの「地域複合体」を構成しているのである。このことは、形は違って淡路島における地域農業に関する調査³⁾を通じてもみられ、「地域複合体」の形成の度合いは、その地域の農業革新とパラレルの関係にある

ことが認められている。すなわち、「地域複合体」が形成されている地域は地域全体が活性化しているのである。地域におけるコミュニケーションの根本的な意義はまさにこの点にあると考えられる。言い換えれば、地域におけるコミュニケーションは、地域複合体を形成し、生活基盤の保全、生活環境の整備、生活文化の創造によって、地域住民の生涯にわたる総福祉⁴⁾(total welfare)を向上することにその意義があるといえよう。

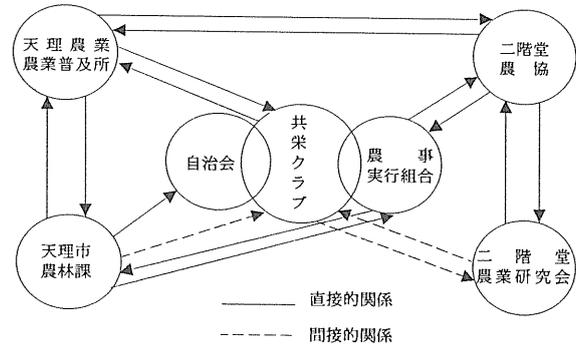


図2.1 岩室方式の推進構造図²⁾(地域複合体の事例)

地域におけるコミュニケーションの意義をこのように考えると、河川に関する施策推進のためにコミュニケーションを図ろうとしても、この意義に沿ったものでなければ地域には受け入れられないことが想像される。したがって、川づくりのためのコミュニケーションも地域住民の総福祉を向上するという観点から進められなければならない。「総福祉」にどのような内容が盛り込まれるかはそれぞれの時代や地域によって異なるであろうが、坂本慶一氏は、人間のLifeを構成する生命の保全、生活の充足(経済及び人間関係)、生き甲斐(あるいは生き方)をあげている。例えば、河川でいえば、その地域の地域目標が経済の活性化であれば、河川の開発による水利用の高度化などがコミュニケーションの主なテーマとなるであろうが、坂本慶一氏のいう総福祉であれば、洪水災害の防止、水利用、河川環境など河川全体のことがコミュニケーションの対象となり、河川のもつ多様な特性をいかに調和させて川づくりを進めるかがコミュニケーションのテーマとなる。

このようなコミュニケーションの意義を認識し、地域の活性化のために交流会を組織してコミュニケーションを推進している事例があるので、以下に簡単に紹介しておくこととする。1つは中国地域づくり交流会で、もう1つは江の川文化圏会議である。

中国地域づくり交流会は、中国地域の活性化と充実

に寄与することを目的に、産・官・学・野の分野を越えた横断的な交流、さらに市町村の行政界の垣根を越えた交流を目指して平成2年に設立された団体である。会員数550名、38の研究部会が設けられており、研究活動を通じて「道の駅」を提案したことで知られている。活動は活発で、平成6年度の実績では、交流会、シンポジウム、〇〇氏を囲む会、〇〇サミット等33のイベントを実施している。

江の川文化圏会議は、江の川流域の過疎化・高齢化の深刻な状況を背景として、流域4市29町5村が一丸となって地域の活性化に取り組むため平成3年に結成された組織である。会議のメンバーは市町村長、建設省の関係事務所長及び島根県、広島県の関係事務所長で、行政機関レベルの交流であるが、イベント等を通じて流域内の人々の交流も促進しつつある。会議は、江の川に関する景観づくり、環境カルテ、流域PRの3分科会を設けて活動を進めている。平成6年には「江の川流域再発見'94キャンペーン（じゃらんじゃらん江の川）」を展開し、様々なイベントを一体的に繰り広げるにより流域資産の再認識と流域住民の連携強化を図っている。

3. 地域とのコミュニケーションの推進

2. でも述べたように、地域との連携・協調を図っていくためには、地域とのコミュニケーションの充実が必要がある。地域と一言でいっても、その切り口によっていろいろな対象が考えられるが、ここでは、市民団体をイメージした地域住民と市町村をイメージした地方自治体を対象として、河川管理者が地域とのコミュニケーションを進めていくうえでの留意点について考えてみたい。

1) 市町村との連携・協調

市町村は、地域における長年の経緯を踏まえ、もっとも地域住民とのコミュニケーションが密接に形成されている行政組織である。また、地域のあらゆる分野の施策を実施する組織であるので、地域の中の河川の位置づけに応じて、他分野の施策を種々組み合わせることにより河川における施策を一層地域のために意義あるものにすることができる。したがって、河川管理者はまず市町村との緊密な連携・協調を図ることが重要である。

川づくりは、河川の地域における位置づけを明確にし、地域の活性化あるいは町づくりとの関連性を充分把握しつつ進められなければならないので、とくに市

町村の企画部門、都市部門とのコミュニケーションを充実させることが肝要である。河川管理者は、地域との関連性に応じて必要な河川に関する情報を継続的に提供するとともに、併せて地域に関する情報を収集し、担当レベルまで相互の理解が十分図られるよう留意する必要がある。また、住民とのコミュニケーションも、住民と密接な関係にある市町村と一体となって進めることが重要である。

このような趣旨に沿った事例として、信濃川沿川市町村連絡会議（建設省信濃川工事事務所）がある。信濃川工事事務所では、沿川10市町村の担当レベルの関係者を対象に年1～2回程度連絡会議を開催している。この会議の主旨は信濃川に関する情報交換であるが、毎回、開催場所を市町村の持回りで変えて開催場所の視察を兼ねている。このような工夫により、それぞれの地域が流域の他地域の状況を知り、流域を一体としてとらえ、トータル的に河川の理解を深めようとしている。

2) 住民とのコミュニケーション

2. で述べたコミュニケーションの意義から考えると、まずコミュニケーションを推進する姿勢としては複合的な性格を重視し、現実には複雑なものであるという認識から出発することが重要で、それを避けて単純化しようとするとかえって無理が生じ、結局、非現実的なものになってしまうということに留意しなければならない。例えば、コミュニケーションの相手として、異なった観点や意見を持つ人々を排除してコミュニケーションを単純化してしまうと、コミュニケーションそのものの意義が失われてしまう。むしろそういった人々とのコミュニケーションを通じてこそ真の現実と迫れると考えるべきである。

また、地域と河川の関係は、それぞれの地域で関わり方が複雑である。したがって、その複雑さを認識し、過去において密接な結びつきがあった河川管理者と地域との関係に学び、各地域におけるそれぞれの経緯を踏まえつつコミュニケーションを進める必要がある。

次に河川管理者が進めるコミュニケーションの内容としては、単に事業を進めるためという類のものではなく、トータルの河川と人々の生活の結びつき（平常時、非常時）、それが人間としての生き甲斐、健康・生命系の大切さに通ずるという視点を持って対処していくことが重要である。住民にとって、河川管理者とのコミュニケーションは、川づくりへの参加を意味する。したがって、河川管理者側で固めたプロジェクト等を提示し、住民側に理解を求めるといったケースには

反発が多い。このような場合には、住民は河川の専門家ではないのでその部分は河川管理者が固めるのは当然であるが、地域と河川の関わりという観点からの議論は両者が対等にできることであり、プロジェクト等を固めていく各段階で河川管理者からの積極的なコミュニケーションを通じ住民の参加できる機会を設けていくことが必要となろう。

住民とのコミュニケーションは、実際は、個々の住民ではなく組織された団体でないと河川管理者側はその対応が大変である。しかし、そのような住民の組織は、河川管理者側で意図的に行わなくても、地域に川づくりへの関心が高まれば自然体で実現するものである。河川管理者側主導で単に〇〇協議会をつくるというようなことは避け、地域の自主的な組織作りを尊重し、河川管理者側はその組織作りが円滑に進むように、さらにできた組織が継続的にコミュニケーションの場として生かされるよう支援する方向で考えていくべきであろう。また、河川管理者側の対応としてまず留意すべきことは、河川管理者側の窓口を住民に明確に示すことである。これは〇〇課が担当というレベルでなく、〇〇が担当という個人名のレベルと考えるべきである。それは、住民側では、窓口として対応してくれる人が変わり得る組織体よりも一貫して対応してくれる人を望んでいるからである。

4. 流域を対象としたコミュニケーションの構築

流域住民の一体化は、河川管理者が種々の施策を推進する上でもっとも要となるポイントであり、河川管理者側が地域にコミュニケーションを求めるゆえんもこの点にあるといっても過言ではあるまい。このような観点から、河川管理者側としては市民団体の交流が流域規模で推進されることを望んでいるが、市民団体の側ではこの点についてあまり意識されていないことが多い。したがって、流域レベルのコミュニケーションの構築は、河川管理者側からの積極的な働きかけが必要となると考えられる。ここでは、現状の市民団体の中で流域レベルの交流活動を進めている団体を事例としてとりあげ、運営方法、活動内容などを簡単に紹介して参考に供することとしたい。

1) 流域交流を目的とした組織により交流を推進している事例

① 多摩川センター

平成6年7月に、多摩川とその流域の自然・文化に係わる課題に対し情報を集め、発進し、多摩川と

市民のよりよい関係を築きあげることを目的に多摩川センターが設立された。センターの運営は、非会員制であるので、多摩川の自然・文化に係わるテーマについて民間団体等より事業を受託していくことによって行っている。事務局（2～3名）を除く役員、運営委員等（10名）はボランティアである。センターが流域交流のために行っている事業は、多摩川サロン（講演と交流）、多摩川セミナー（市民、行政、企業、専門家による立場を越えた学習・議論の場）、多摩川クリーンエイド（一斉清掃、散乱ゴミ調査等）、実態調査（自然環境保全の課題と住民活動等）、多摩川レンジャーの育成等である。また、毎月B5版4頁の「多摩川センター通信」を発行して、地域のイベント情報等の収集、発信に努めている。

多摩川には、現在、50余の市民団体があるが、団体の構成員、規模、活動の場、活動内容等は多種多様であり、多摩川センターが市民ネットワークの活動拠点として機能することにより、今後、市民団体のネットワーク化が進み、流域規模の交流が活発に展開されることが期待される。



写真4.1 府中市郷土の森に旧小学校校舎を利用して設置された川の情報センター、「水辺の生物館」（建設省京浜工事事務所）

② ドラゴンリバー交流会

九頭竜川には、九頭竜川で進められているドラゴンプロジェクトに関連して、平成7年8月、福井市に設立されたドラゴンリバー交流会がある。この会は、九頭竜川水系を軸として全流域の活性化を図り、自然と人間の共生をめざし、豊かな水環境を創造することを目的としている。運営は会員からの会費によることとしており、会員として、現在（平成8年4月）すでに、団体74団体（目標50団体）、個人364

人の参加が得られている。役員は11名でいずれもボランティアである。平成7年度の事業内容は、シンポジウムの開催およびドングリの森づくり、河川敷清掃、カヌー大会および源流探索への支援等であった。

ドラゴンリバー交流会のケースは、多摩川のような河川に関連した市民団体の活動実績がないところに、突然、流域規模を対象として交流会を設立したものである。この会の今後の発展は全国の多くの河川で参考となる事例となろう。

③ 市民ネットワーキング相模川

相模川では、「we love 相模川」を契機に、市民によるネットワークづくりの機運が生じ、平成7年7月に、「市民ネットワーキング相模川」が設立された。

会の運営は、約70名の会員からの会費と神奈川県いきいき未来相模川推進協議会からの助成金によって行われている。これまで行ってきた河川の自然観察、河川フォーラム、流域マップづくり、ニュースレターの発行等の実績を踏まえ、今後の活動が期待される。

2) ネットワーク、イベント等により流域交流を推進している事例

1) に述べたような流域交流を目的とした活動組織のない流域では、河川管理者側からの積極的な働きかけにより、それに代わるネットワークの形成やイベント等による各種市民団体の流域交流を意識的に推進していく必要がある。

④ 鶴見川流域ネットワーキング

流域の36市民団体が参加し、定期的な懇談会等の開催、イベント、流域情報新聞の発行等を行っている。事務局は、毎年、参加団体が交代で担当している。河川管理者側は、主としてこのネットワーキングとコミュニケーションを図っており、総合治水対策に関するPR、川に対する理解を求めるセミナー等を共同で企画および運営を進めてきている。参加団体からもその活動が評価されており有効な方法といえよう。

⑤ 江の川文化圏会議

この会議は前述したように行政機関で構成された場での流域交流であるが、「江の川流域再発見'94キャンペーン（じゃらんじゃらん江の川）」の実績でも分かるように、イベント等を通じた流域住民レベルの交流も同時に進められているといえよう。このケースでは、地域の活性化という地域目標を河川流域で考えているところに示唆に富むポイントがある。

⑥ その他

世界湖沼会議市民の会では、霞ヶ浦およびその流入河川を対象に、一斉清掃、観察会等の体験活動を通じて、市民団体、自治体間の流域交流が行われている。

富士川では、市民団体と自治体を対象に建設省が主催した「21世紀の社会を展望した河川整備に向けての勉強会」を通じて上下流の地域間交流が図られつつある。

一方、鬼怒川・小貝川では、河川管理者と自治体で構成するサミット会議で、平成4年、河川に関する専門的な知識や特技をもつ市民を掘り起こして河川コーディネーターに認定し、地域住民が参加した川づくり運動の活性化を図ってきているが、ここでは、この河川コーディネーター間の情報交換を積極的に行うことで実質的な流域交流を期待している。いずれにしても、地域の特性や市民団体の活動経緯により、その形態については必ずしも最良の方法を特定できないが、流域交流の意義をコミュニケーションの当事者がどの程度認識しているかが重要なポイントとなろう。

5. 次世代を担う子供たちへのアプローチ

地域との連携・協調を進めていく中で、子供たちへのアプローチを忘れてはならない。平成8年度における建設省河川局の新規施策として「水辺の楽校」がスタートする。これは、水辺で様々な自然体験ができる場を確保することもさることながら、学校関係者、PTA、河川管理者、地方自治体、市民団体などが緊密なコミュニケーションを図りつつ、地域が一体となってこの施策の推進を図るところに大きな意義があると考えられる。このプロジェクトのスタートにあたっては、主として教育関係者からなる「河川と教育に関する懇談会（座長：斎藤川村学園女子大学助教授）」が設けられ、5回にわたる会合を通じ貴重な意見や考え方が提示されている。ここでは、これらの意見や考え方を踏まえ、子供たちと川との関係や川へのアプローチについて考えてみたい。

1) 子供たちが川とふれ合う意義

川は、もっとも身近で日常的に接することができる場所であって、生存に不可欠な「水」と「多様な生態系」により常に人間の回帰本能をかきたてる優れた自然的環境である。とくに川とのふれ合いが子供たちにとっていかに貴重な意義を有しているか、大谷和子

氏³⁾が河川整備基金助成事業による研究報告の中で言及している部分があるので抜粋して以下に示す。

「私が人間として学んだ大事なことは、大学院ではなく、幼稚園の砂場にありました。」これは、アメリカのカンサスシティ新聞に載った投書だったのですが、その後、アメリカのみならず、世界中の教育界の話題となった一文です。「幼稚園の砂場」これを「幼い頃の水遊び」と言い換えてもその趣旨は変わらないでしょう。人間教育の基礎となるものは、人間と最も根元的なつながりを持つ水や土との関わりあいの中に隠れているからです。

人は環境によって作られるといわれています。従来、子供をできるだけ学校、教室という枠の中に閉じ込めていることが教育だと考えられてきた時代がありました。しかし、二十一世紀を間近にひかえて、多様な価値観が可能な今、学校以外の文化施設、例えば美術館、博物館、ライブラリー、動物園、公園等は全てカリキュラムに挿入できる教育環境施設です。いまここに問題として提示している「水辺の自然」もいわば「新しい学校、新しい教室」でもあります。水に触れ、水と遊ぶその中に、人間が学びとらねばならぬ基本的なものがいかに多く包含されていることか、計りしれません。

幼い日の体験はインプリンティング（すりこみ）となって、その人の潜在意識の中に生き続け、水辺への郷愁や水辺を愛する心となり、さらには、水辺を守り、育もうとする思いとなることでしょう。」

また、この研究では富山市内の住民を対象にアンケート調査も行っているが、アンケート項目の1つに「水辺には、どんなものがあつたほうがよいですか」という質問があり、その回答は次のようになっている。すなわち、施設としては「キャンプ場」、「トイレ」はあつた方がよいが多く、遊園地・遊具は「ないほうがよい」、建物は「ないほうがよい」、広場は「ないほうがよい」がそれぞれ一番多いという結果であつた。住民は、水辺には人工的・機能的なものは必要ではなく、あるがままの自然に接し、自然と一体化できるような環境をもっとも望んでいると考えられる。大谷和子氏の子供たちにとっての川の意義と併せて、川づくりに際して留意すべきポイントであろう。

2) 現在の子供たちの学校外活動の実態と問題点

「河川と教育に関する懇談会」の中で座長から紹介された子供たちの学校外活動に関する調査結果（小・中学生対象、範囲は主として東京など関東地方）や懇談会のメンバーの方々が教育現場等で直接子供たちに

接してきた経験談等から、現在の子供たちの主として「遊び」の実態とそこから派生する問題点について以下にまとめて述べる。

まず、「遊び」の実態である。

① 子供たちは総じて1人で生活する時間が多く、都会では、「我関せず」という考え方で一定距離以上に人を入れたがらない子供も多い。勢い遊び相手は家族、肉親となるが、父親との接触は少ない。ちなみに、休日の過ごし方で最も多いパターンは「ゆっくり休養」である。

② 仲間とのつきあいがある場合も、その仲間は学校の同じクラスの者というケースが多く、学習塾や習い事で忙しく、お互いに約束の時間を決めないと遊べないというケースもみられる。また、異年令、異世代とのつき合い、いわゆる縦社会が形成されない。一方、地域社会と関わるような横の広がりもない。

③ 遊ぶ場所は、自分の家や友達の家という建物の中が多く、外に出て遊ぶことが下手で、また積極的に外へ出ていこうともしない。

④ 自然体験、生活体験は直接的な体験ではなく、ファミコンやテレビなどを通じた間接的な体験が多い。大人のリードで自然体験をする機会があっても大人がいろいろなことをやってしまうので、子供にとって自主的に考えて行動しなければならない環境が与えられているにもかかわらず、その体験は疑似体験に終わってしまっている。また、家庭における掃除、洗濯、食事の準備・片付けなどの生活体験も半分以上がやっていない。

以上のような実態から次のような問題が生じてきている。

① 自立性、社会性の欠如の結果、中・高校生の50%以上が親離れしてない。

② 自然から隔絶された生活パターンであるため、自然の営みが体で分かっていない。例えば、人間と人間以外の生物との関わり、生から死までの自然の一連のプロセス、朝、昼、夜あるいは季節などによる自然の変化など。自然体験がないので、自然の中で危険から自分の身を守るといったことはとてもおぼつかない。このことがまた、ますます自然との接触を消極的にさせる。

以上のような現在の子供たちの実態は、非常に閉鎖的で澁刺さに欠ける印象を受ける。とても子供たちの本来の姿とは程遠い。これは、時間的な余裕のなさに加えて、大人社会の人間関係が大きく反映されていると考えられている。地域社会（community）の大人た

ちの人間関係が、子供たちの社会の人間関係に如実に現れてくるのである。したがって、ここで述べた子供たちの実態は、懇談会のメンバーの人達のフィールドから東京を初めとする関東地方に限定されることになるが、我が国の大人社会の現状から考えると全国に適用される傾向を示しているといえよう。また、子供たちの自然体験の欠如はその親に自然体験がないからなのである。体験不足の大人が、子供のために運動会やキャンプなどを企画しても、お膳立てをし過ぎて、子供はお客さん然として参加しているようなことになる。これでは折角の機会を作っても、子供の体験はあくまで疑似体験にしかならない。

3) 子供たちへのアプローチ

本来、子供は「遊び」を通じていろいろな体験をして人間として生長していくものである。しかし、現在、時間の間、仲間の間、空間の間が非常に狭められその機会を失っているのである。とりわけ、現代社会の便利さとか豊かさとか相反する自然の中での体験の欠如は、その体験のもたらす様々な創造性の発揮や情感への刺激の機会をなくし、子供たちの自立心や社会性の育成を阻害して依存心のみを高める結果になっている。子供たちがこのような状態のまま大人になって形成する地域社会、人間社会とはどのようなものか、憂慮すべき事態である。このように考えてみると、「水辺の楽校」プロジェクトは実に重要な意味をもっているといえよう。川を子供たちの自然体験の場として提供するとともに、地域ぐるみで、地域が子供たちを本来の子供たちに戻す方向に努力する端緒となり得るからである。

以下にこのための留意点、すなわち、子供たちを川へアプローチする留意点を述べる。

- ① 川は日常的な自然とのふれ合いの場として重要な意味を持っている。したがって、その自然の状態をそのまま、場として提供することが重要である。さらに、できるだけ規制のない場とする。子供たちのためには、都市の公園などによくみられる人工的な施設や多くの規制を設けるようなことは避け、自由な場、創造性を発揮できる場となるように留意する必要がある。
- ② 子供たちと一緒に親も同時に自然体験が必要である。とくに、子供たちと接触の少ない父親が子供たちとともに川とふれあうことのできるようなアプローチが重要である。
- ③ 子供たちイコール学校という認識でいろいろなことを学校に期待することを避ける。子供たちの川

へのアプローチは、あくまで地域全体の取り組みによるものという認識を明確に持つことが重要である。また、この取り組みを通じて地域社会におけるコミュニケーションの推進も期待できる。規制のない場合は同時に危険も存在する。しかし、ちょっとした危険は子供たちの自己防衛能力を鍛える観点からはむしろ必要なことである。この場合、大事に至ることのないよう大人の監視が必要であり、地域ぐるみの対応が不可欠である。

- ④ 子供たち自らの発想による「遊び」を尊重し、大人の発想による教育的、指導的な活動やイベントを避けることが重要である。
- ⑤ 場の設定は、徒歩あるいは自転車でも可能な距離で考え、川までの道路の安全性に充分配慮する必要がある。したがって、総合的な町づくりの中できちんと位置づけていくことが重要である。

6. 住民の求めている川に関する情報

平成7年10月に河川管理者と地域のコミュニケーションに関する調査の一環として、当財団が市民団体へのヒアリング調査を実施した。対象は全国で、河川に関連して積極的な活動を行っている団体（主として河川整備基金の助成団体）の中から、団体の目的、性格、規模、活動の地域等を考慮して53団体を選んだ。調査にあたっていくつかの質問を用意したが、ヒアリングの結果として市民団体からもっとも反応が多かったものは、河川管理者に対する川に関する情報提供の問題である。

市民団体が求めている情報の内容について、主なものを示すと以下の通りである。

- ① 河川整備、ダム計画など川づくりに関する構想段階の情報（圧倒的に多い）。
- ② 水質、水量、自然環境情報（非常に多い）。
- ③ 年度の事業計画及び工事情報（非常に多い）。
- ④ 助成、支援に関する情報（多い）。
- ⑤ 流域のイベント情報、団体の諸活動の情報（多い）。
- ⑥ 他の河川における諸団体の活動内容、活動情報（多い）。
- ⑦ 流域全体の川や水に関する情報

②には一次データでほしいというものが含まれている。④～⑥は市民団体の活動のための情報であるが、河川管理者の協力を期待するという意味である。①に関してその主旨をさらに調べてみると、事業計画などが計画が固まった段階で公表されると、住民側の意見

を反映させる機会を失ってしまうという意見と、そもそも川づくりはスタート（構想段階）から住民とともにやるべきだという河川施策の進め方に対する意見とがある。また少数ではあるが、川をどのようにしていくのか、川の将来の姿を提示して欲しいという意見もある。いずれにしてもこのヒアリング結果は、住民が川づくりへの積極的な参加を求めていることを示しているといえよう。したがって、河川管理者側は、住民とのコミュニケーションを進めていく際にはこの視点を持って対処していくことが重要である。

このような観点にたつて考えると、住民へのコミュニケーションを通じた情報の提供についてもその内容について留意する点がある。1つは情報内容そのものである。それは、住民は自らの関心事として河川環境に関する情報を求めるかもしれないが、水と緑と言った平面的なことではなく、例えば災害の歴史など治水に関すること、渇水など水利用に関すること、河川敷利用や水面利用に関すること、さらには水循環の問題等、全体として、トータル的に河川を理解できる体系的総合的なものとなるよう留意する必要がある。地域と川との関わりを踏まえ川づくりを議論していくためには、トータルな議論でなければならないからである。また、これに関わる情報は恒常的にかつ的確に地域に提供していく必要がある。もう1つは情報内容をどのように表現して伝えるかである。河川管理者側で作成して市民に提供している資料の中には、誰に分かってもらおうとしているのか不明なものが見受けられる。用語、図、写真など、少なくとも対象とする人たちに理解可能なように工夫される必要がある。当財団で、平成6年度、7年度に河川のビデオづくりの業務を行ったが、その制作に携わったシナリオライターが関係工事事務所から資料として提供されたパンフレット等の内容が理解できず、業務の円滑な遂行に多大な影響を及ぼした経緯がある。恐らく地域においても、同様に、河川管理者側の提供する情報が真に理解されているのかどうか甚だ疑問である。用語でいえば、例えば、「流水の正常な機能の維持」、「基本高水流量、計画高水流量」、「流下能力、河積」、「左岸、右岸」、「堤内地、堤外地」、「内水、外水」、「低水路、高水敷」、「単断面、複断面」、「河床、河床勾配」、「2割勾配」、「周囲堤、越流堤」、「背割堤、霞堤」、「樋門、樋管」、「透過水制、不透過水制」、「床止、床固」、「洗堰、可動堰」等々の用語は、一般の人たちには理解されていないと考えられる。河川に関わる基本的な用語が理解されていないまま、河川の機能や河川施設の目的、意義などを説明してもおよそ理解は得られないであろう。基本的なこ

とであるが留意すべき重要なポイントであると考ええる。

なお、河川に関する情報媒体としては、自治体広報紙が非常に高いという調査結果⁴⁾があるので、地域への情報提供に際し、自治体広報紙の大きな役割を認識しておく必要がある。

7. 住民参加の事例（外国）

6. でも述べたように、住民は川づくりに関して、河川管理者に構想段階の情報の提供を求め自ら参加することを主張している。これまで我が国の河川施策は、もっぱら河川管理者主体で進められてきた経緯があり、最近、地域の意志を施策の意思決定に反映するシステムとしてダム事業審議委員会の制度が設けられたが、河川管理者の行う計画づくりの過程に直接的に住民が参加するという事例は見られない。

ただ、市町村と一体となって計画づくりをするような事業は河川施策の中にも位置づけられており、良好な水辺空間の形成を図る「ふるさとの川整備事業」や障害者、高齢者等にも配慮した川づくりを実現する「まほろばの川づくり計画」などはその例といえる。こういった事業には、市町村を通じ住民の参加は充分可能であろう。しかし、最近、このような特定の事業以外にも、自治体においては川づくりへの住民参加の試みが始まっている。北九州市では、市の中心部を貫流する紫川中流部の河川改修（北九州市都市小河川改修事業）に際し、景観や自然に配慮した地域住民の「こころ」が反映された事業とするため、住民の意見を積極的に取り入れた改修計画づくりを進めようとしている。その方法は、「ワークショップ全国交流会」を開催し、市民及び全国からの一般参加者と河川分野の専門的スタッフが共同で改修のあり方を検討するというものである。その成果が注目される場所である。

このような住民参加の問題に関しては、外国に先進的な事例がみられるので、その1～2をここで紹介して参考に供することとしたい。

1) オランダにおける事例⁵⁾

この事例は、オランダのライン川、マース川の堤防改修に際し、住民からこの事業が景観及び自然・文化的価値に甚大な影響を及ぼすという大規模な抗議運動が起こったことに対し、河川管理者側がとった措置である。河川管理者側は、まず専門家からなる審議会を設立し、計画づくりのための調査方針とその成果に対する審議を依頼した。調査内容は結果として、安全度3ケースに対し、それぞれ、洪水被害減少の割合、

4 ケースの改修計画案に対する堤防の改修費、維持管理費及び景観、自然、文化に対する影響の度合である。この調査で最も特徴的なことは安全度を比較要素にしている点である。また、景観、自然、文化に関する評価に関連して市民団体など5団体をフォーカス・グループとして参加させたことである。

表 7.1 に計画決定に至る経緯をまとめて示したが、河川管理者側による計画についての調査検討から審議会の報告までが160日余という短期日で進められている。審議会の報告書は一般に公開された。その報告書の内容は審議会による概要版および調査検討資料である。オランダ政府は、審議会の報告が出た約1ヶ月後に、審議会の方針に沿った政府案を決定し公表した。この政府案の公表に際して、政府は姿勢として、安全度を下げることが地域住民が望めばこれを承認としている（政府案は現行の安全度を下げていない）。公表された政府案に対する反応は賛否両論があり、議会（国）は公開ヒアリングを行った。このヒアリングには、抗議運動をリードしている環境団体を初めとする環境関係の組織の他、地方政府としての州および water boards（河川工作物の設置および維持管理を行う組織）など5つの組織が招かれた。この後議会で審議されることになるが、若干の付帯意見は付されたが、政府案は原案通り可決されている。

表 7.1 堤防計画決定の経緯⁵⁾

事 項	日 付
調査検討の開始	平成 4 年 8 月 1 日
調査検討結果の審議会への報告	12月17日
審議会による審議結果の政府への報告及び公表	平成 5 年 1 月 11 日
政府案の決定及び公表	2 月 12 日
公開ヒアリング	3 月 16 日
議会における討議	4 月 27 日
議会における決定	5 月 4 日

この事例では、抗議行動を起こした団体は最後まで政府案に反対の立場をとったが、審議会によるチェック、フォーカス・グループによる住民参加、情報の公開、公開ヒアリングなど一連の政策決定過程のオープン化が、住民の支持を得ることに大きな影響を及ぼしたものと考えられる。

2) アメリカにおける事例⁶⁾

アメリカでは、いろいろな事業計画について公開通知書を関係政府機関が作成し、これを公表して計画に

対するコメントを求めるという方法で住民参加が行われている。この通知書の様式は次の通りである。

①申込者：事業者の氏名、住所。②プロジェクトの用地：説明と1/24,000の付図があり、位置と事業区域が明示される。③プロジェクトの解説：事業の概要と事業内容を示す付図がある。④機関の批評と応じる機関：事業の許可を行う行政機関、例えば、米工兵隊、州などの対応と関連するコメントの受付先を明示。⑤歴史上/考古学上：関係行政機関が影響の有無を明示。⑥絶滅の危機に瀕した種：関係行政機関が影響の有無を明示。⑦浚渫/理立の必要ガイドライン：事業の影響評価のためのガイドラインを明示。⑧公益性：総合的な公益性の評価。⑨コメントに対する対応：寄せられたコメントがどのように生かされるかの説明。⑩公聴会：要請があれば公聴会を開催する。ただし、要請する根拠が薄弱な場合は却下される。また、この通知書のマスコミへの通知は、「この通知書は、あなた方がニュースストーリーを構成していくのに使用する背景の情報として供給されている。この通知書は、機密扱いという広告表示を出すという契約ではない。」となっている。

この方法が、地域の連携・協調という観点からどの程度有効に機能しているのかは不明である。しかし、さらに詳しい情報が知りたければそれに応ずることが通知書の中で明示されかつ受けつける窓口も示されていること。コメントへの対応で、環境アセスメントや国家環境政策法に従った環境影響声明への使用、公聴会の必要性の決定や総合的な公益性の判断への使用が明らかにされていることなどを考えると、事業計画の意思決定に地域の意見を反映させようという積極的な姿勢がうかがえる。

8. おわりに

アメリカでは、平成5年に発生したミシシッピー川の大洪水を契機に氾濫原管理の検討が関係省庁合同で進められ、その対応策等が報告書⁷⁾としてまとめられている。その中で、ソフトな対応の1つとして、一般市民が洪水やその他の危険に関する情報を共有することの重要性が指摘されている。さらには、自然災害（洪水など）のあり得ることを次世代を担う小・中学校の教育に含めることが提案されている。これは災害時の避難などの対応という意味もさることながら、氾濫原内における不適切な開発の阻止という観点からの意味が非常に大きい。このことは、ハードだけでなくソフトを組み合わせた総合的な施策を推進しようとする

すると、地域との連携・協調が不可欠になってくることを意味している。

前述の「河川と教育に関する懇談会」の中で、山田中央大学教授（河川工学）は、米国の河川視察の際に出会った河川の危険表示の看板に、「この堰は通行するためのものではありません。でも、あなたの危険の範囲内で通行してもいいですよ」という主旨のことが記されてあったと紹介している。我が国では、公共施設に関する安全性について、このように個人の責任を明確にした考え方を示しているものは見あたらない。危険表示もするが、人々を施設の中の危険な区域に物理的に近づけないような安全策をとるのが普通である。河川管理者が地域との連携・協調を図りつつ川づくりを進めるということは、地域の人たちが川とより密接な関わりをもち、川を地域の中の資産として地域のために生かしていくということが前提となっている。このように考えてくると、川に近づくことによって懸念される危険性の問題は、地域がその責任を明確にすることが重要であると考えられる。

いずれにしても、川が地域の中で重要な位置づけをされればされるほど、地域との連携・協調の中で解決されなければならない問題が多くなるということを認識しなければならぬ。我が国の河川施策が、河川区域を対象としたハードを主体とする線的な展開から流域を対象としたハード、ソフトを組み合わせた面的な展開に進むにつれ、地域との連携・協調の重要性がますます増してくることになる。

最後に、本稿をまとめるにあたっては、主に当財団に東北地方建設局から委託された「河川管理者と地域のコミュニケーションのあり方に関する研究」および中国地方建設局から委託された「河川と教育に関する懇談会」の成果報告書を参考とさせていただいた。両地方建設局の関係者の方々ならびに研究会、懇談会の各委員の皆様方に、ここに厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 坂本慶一・高山敏弘（1983）：地域農業の革新，明文書房。
- 2) 福田 稔・坂本慶一（1981）：農林地域の再編と管理，明文書房。
- 3) 大谷和子（1992）：水辺の自然と芸術性についての研究「子供を水辺へいざなう積極的な造形活動」，河川整備基金助成事業成果報告書。
- 4) 財団法人河川情報センター（1995）：河川広報に関する

拠点地域調査・'94大阪。

- 5) Warren E. Walker, Allan Abrahamse, Joseph Bolten, James P. Kahan, Odette Van De Riet, Matthijs Kok, Marjan Den Braber (1994) : A policy analysis of Dutch river dike improvements, trading off safety, cost, and environmental impacts, Operations Research Society of America.
- 6) US Army corps of Engineers (1994) : Public Notice.
- 7) 日本生態系保護協会訳（1995）：21世紀に向けたアメリカの河川環境管理，河川整備基金助成事業成果報告書。