

河川環境総合研究所報告

第9号

平成16年3月

(財)河川環境管理財団
河川環境総合研究所

はじめに

(財)河川環境管理財団に河川環境総合研究所を開設して11年が経過しました。現在、各地域のニーズに対応するため、研究第1部、2部、3部、4部、大阪研究所（5部）、北海道事務所、名古屋事務所において調査研究業務を行っており、目下、取り組んでいる調査研究の主なテーマは以下の通りです。

① 水系一環の視点に立った河川環境の総合的な計画に関する調査研究

- A 河川整備計画に関する調査研究
- B 河川環境管理計画に関する調査研究
- C 河川の自然再生に関する調査研究
- D 湖沼の整備に関する調査研究
- E 樹林帯の整備・管理に関する調査研究

② 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

- A 河川の新たな水質問題に関する調査研究
- B 河川の水質浄化技術に関する調査研究
- C 河川水質浄化計画の策定に関する調査研究
- D 下水処理水のなじみやすい放流等に関する調査研究
- E モニタリング等に関する調査研究

③ 河川管理施設等の維持管理に関する調査研究

- A 河川維持管理計画の策定に関する調査研究
- B 堤防の機能維持のための調査研究
- C 河道の質的安全性の評価に関する調査研究
- D 河川巡視・点検システムに関する調査研究
- E 堤防の植生管理に関する調査研究

本報告は、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発行しており、今年で第9号を発行することができました。これもひとえに国土交通省をはじめ関係各位のご指導、ご支援の賜物であり、ここに厚くお礼申し上げます次第です。

また、本報告は現場での活用を念頭に置いており、現場第一線における河川環境への取り組みに資することができれば幸いです。

当研究所では、河川環境に対する取り組みを拡充し、社会の要請に的確に応えていくべく、芦田和男、吉川秀夫、江川太郎、佐々木寧、山口甲、各先生の指導を得つつ、一層の努力をしてまいり所存ですので、今後とも関係各位の温かいご指導、ご支援をお願い申し上げます次第です。

平成16年3月

財団法人 河川環境管理財団
理事長 鈴木 藤一郎

研究所報告の編集について

本研究所報告の編集に際しましては、下記の編集委員からなる編集会議（2003. 8. 7）を行っています。

編集委員

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長 兼大阪研究所長 (河川工学)
吉川 秀夫 工学博士 (財)河川環境管理財団 研究顧問 前河川環境総合研究所長 (河川工学)
玉井 信行 工学博士 金沢大学工学部土木建設工学科教授 (河川工学)
佐々木 寧 理学博士 埼玉大学工学部建設工学科教授 (植物学)
大垣眞一郎 工学博士 東京大学大学院工学系研究科教授 (水環境工学)
山本 晃一 工学博士 (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究総括職 (河川工学)

事務局

(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第1部

目 次

I 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

1. 閉鎖性河口域茨戸川の水質機構特性と水環境保全策1
吉岡紘治・工藤 喬・斎藤聖喜・加藤善盛・永友功一
2. 鶴見川の新しい水質環境保全対策について18
佐藤和明・岸田弘之・渡辺 拓

II 河川整備計画に関する調査研究

3. 河川流域の整備と河川水理環境の変化に関する研究41
山口 甲・吉岡紘治・千葉則夫・稲葉行則・永松 宏

III 河道の質的安全性の評価に関する調査研究

4. 中小河川における大規模災害復旧計画の課題と対応61
山本晃一・赤羽忠志・和田健一
5. 河川の土砂環境の健全化をめざした対応について68
山本晃一・赤羽忠志・渡口正史
6. 大規模河道網におけるダムの持つ洪水水位低減効果に関する研究78
山田 正・戸谷英雄

IV 河川管理施設等の維持管理に関する調査研究

7. 駿河湾沿岸域における漂着物の特性について95
高垣美好・村上宗隆

I 水環境改善および河川水質浄化に関する調査研究

1. 閉鎖性河口域茨戸川の水質機構特性と水環境保全策

吉岡 紘治* 工藤 喬** 斎藤 聖喜*** 加藤 善盛**** 永友 功一*****

1. はじめに

茨戸川は昭和初期に石狩川本川から切り離された延長約20km、平均幅200mの河跡湖である。流域は札幌市及び石狩市の市街地を抱え、ボート・釣りに利用されるなど、地域住民の憩いの場となっているほか、貴重な水産資源を育み全域で漁業利用されている。

流域では下水道整備の進捗等、流域の水環境改善施策の実施により近年の水質は改善傾向にあるものの、湖沼形態をとる河跡湖である上に感潮域に位置する茨戸川の場合、流域の汚濁負荷の影響を強く受けると同時に感潮域特有の流動特性が富栄養化を伴った水質形成に大きく影響を及ぼしており、現在でもアオコの発生が危惧されるなど環境基準を達成できない状況となっている。また、茨戸川の流入河川にあたる札幌北部地区の河川では、水源を持たないため平常時の流量が小さく、水が停滞し、水環境が損なわれている河川も多い。

このような状況に鑑み、国土交通省により茨戸川及び札幌北部地区河川は「清流ルネッサンスⅡ」の対象河川として指定され、西暦2012年度（平成24年度）における対象河川の目標を定め、これを達成するための施策（河川事業、下水道事業、流域対策等の事業）に係る行動計画が検討されてきた。

本稿は、茨戸川の水質機構を把握するために水収支特性や負荷収支特性等の水質変化の影響要因について調査データに基づく検討を行い、水質機構に立脚した水質保全策を抽出し、対策効果の予測評価を行った点について報告するものである。



図2・1 茨戸川の流域概要

* (財)河川環境管理財団 北海道事務所長
** (財)河川環境管理財団 北海道事務所 調査役
*** (財)河川環境管理財団 北海道事務所 主幹
**** (株)日水コン河川事業部 部長
***** (株)日水コン河川事業部 技術第1部

表2・1 流域河川の諸元

項目	諸元	摘要
流域面積	160.5km ²	茨戸川 伏籠川 創成川 発寒川 53.0 64.0 19.0 24.5
流路延長(幹川のみ)	53.1km	茨戸川 伏籠川 創成川 発寒川 20.2 + 10.5 + 14.2 + 8.2
法指定の現況(H14.4)	指定区間外区間(流路延長) km	茨戸川(20.2), 真蕪別川(2.0), 石狩放水路(2.5), 伏籠川(2.3), 創成川(4.7), 篠路新川(平ノレ沼を含む)(4.3), 雁来新川(3.2)
	指定区間(流路延長) km	伏籠川(5.9), 発寒川(8.2), 安春川(4.8), 創成川(1.3), 茨戸耕北川(0.5), 旧伏籠川(3.3), 篠路拓北川(1.8), 旧琴似川(3.4), 篠路新川(3.9), 雁来川(3.2), 苗穂川(2.4), 旧琴似川放水路(1.1), モエレ川野川(1.1), 丘塚藤木川(2.3)
	準用河川	創成川, 新琴似川, 屯田川, 東屯田川, 伏籠川, 丘塚5号川, 丘塚川, 旧琴似川, 学田川, 赤坊川, 篠路川, 中沼中央川, 福移堤内川, 下福移川, 拓北川, 茨戸耕北川,
流域人口(H12)	約55.6万人	平成12年度末住民基本台帳より推計
関係市町村名	札幌市 100.9km ² 石狩市 59.6km ²	

2. 水収支の特性検討

2.1 茨戸川の地理・地形上の特性

茨戸川の流域面積は流入河川までを含めるとおよそ160km²である(表2・1参照)。主な流入河川としては創成川、伏籠川、発寒川があり、これらの3河川は下部湖盆の上流端付近で伏籠川に合流し茨戸川に流入している。

また、流域内には4つの処理場が位置し(図2・1)、そのうち創成川処理場は創成川に、伏古川処理場は伏籠川に、茨戸処理場・篠路拓北処理場は茨戸川に処理水を放流している。(篠路拓北処理場は全域分流式下水道処理区のため雨水のみを放流)

茨戸川の縦断形状を図2・2に示す。茨戸川の総延長は約20kmであり、下流から約12kmの観音橋、約17km

の山口橋の位置に狭窄部があり水深・川幅ともに小さくなっており、いわゆる「湖盆」形状を成していることから、この位置により3湖盆に分けて、当別捷水路により生じた最上流部の小三日月湖を上部湖盆、生振捷水路により生じた大三日月湖の内、観音橋より上流側を中部湖盆、下流側を下部湖盆と呼んでいる。

これら各湖盆の延長、容量、水面積を表2・2に示す。延長・水深とも下部湖盆が大きく、容量では約7

表2・2 茨戸川の各湖盆の諸元

	上部湖盆	中部湖盆	下部湖盆	合計
延長(km)	2.9	5.8	11.5	20.2
水面積(km ²)	—	—	—	4.67
容量(m ³)	約200万	約380万	約1170万	約1750万
平均水深(m)	2.2	2.1	3.3	2.8
最大水深(m)	10.4	10.3	14.5	14.5

(容量はH=0.5m時)

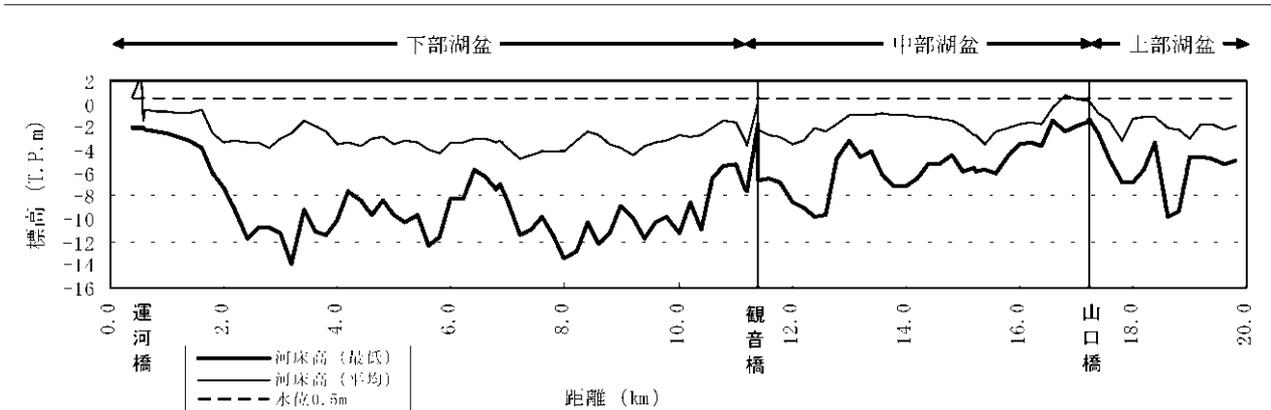


図2・2 茨戸川の縦断形状

割を占めている。平均水深は2.8mであるが、流心部は各湖盆とも10mを超えるほど深くなっている。

茨戸川では下部湖盆の底層において塩水の遡上による躍層の形成が見られるが、狭窄部である観音橋地点において水深が約2mで極端に浅くなっていることが中部湖盆より上流に塩分が遡上しにくくなっていること等、独特の縦断形状は水の流動と水質形成に関係している。

2.2 流入河川水量の特性

茨戸川の主要流入河川である創成川、発寒川、伏籠川の三河川の流量規模は年平均流量で見ると、創成川が1.28m³/s、発寒川が1.06m³/s、伏籠川が0.96m³/sと概ね同程度の規模である。

創成川の中流部には創成川下水処理場があり、晴天時汚水量103,470m³/dayのうち約73%が創成川に放流されている。これは創成川の年平均流量の69%にあたり、創成川では流量に占める下水処理水の割合が高い。

また、創成川処理場で高度処理された下水処理水(砂ろ過)は一部せせらぎ用水として、安春川、屯田川、東屯田川、茨戸耕北川に導水されており(冬季は融雪水として利用)、これらの水路を通して0.20m³/sが発寒川に合流している(茨戸耕北川は創成川に合流)。これは発寒川の年平均流量1.06m³/sの19%に相当する。

伏籠川は水源が伏古川処理場の処理水であり、茨戸川合流手前においては、年平均流量0.96m³/sの47%を下水処理水が占めている。

以上のように茨戸川では流入河川の水量のうち下水処理水の占める割合が46%と高いことが大きな特徴となっている。

流域からの流入水を下水処理水以外の点源や降雨流出による面源からの流入水量も合わせたトータル量として推定すると図2・4のようである。下水処理場放流水と下水道未整備区域からの点源排水を加えると全体の約5割を占め、茨戸川が固有の水源に乏しくその多

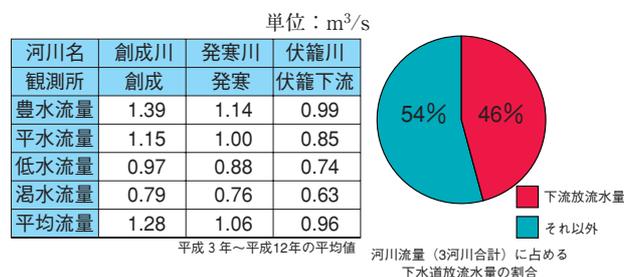


図2・3 下水処理水の流入量

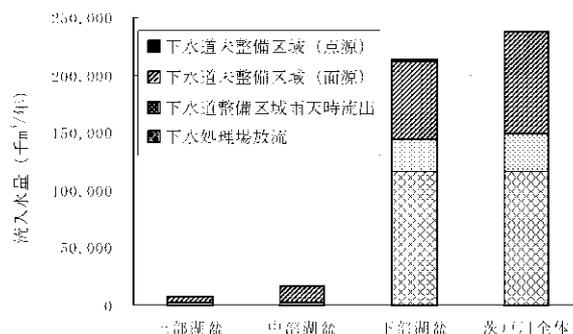


図2・4 各湖盆の流入水量

くを流域からの人為排水に頼っていることが分かる。また、茨戸川の流入水は約9割が下部湖盆に流入しており、上部湖盆・中部湖盆へ直接流入する水量は約1割と少ないものである。

2.3 潮位変動による交換流の発生

茨戸川の水取支上のもうひとつの特徴は、感潮域に位置するがゆえに、潮汐による海水位の変動の影響を受け河川水位も周期的に上下し、河川内では順流・逆流が交互に繰り返し生じていることである。

図2・5は下部湖盆と中部湖盆の境界であり狭窄部となっている観音橋地点に二次元式流速計を設置し流量変化を連続的に観測した結果、及び観音橋の上下流地点にて観測した水位変化を大潮時について示したものである。

観音橋直下の下部湖盆の茨戸観測所地点、直上の中部湖盆の水位を比較すると、中部湖盆の水位変動幅が下部湖盆の変動幅よりも若干小さいことにより、両地点の水位高低関係が周期的に逆転し、順流・逆流を繰り返していることが分かる。この際、観音橋地点では流速はおよそ $-2\sim+2\text{m/s}$ の範囲で変動し、流量は $-15\text{m}^3/\text{s}\sim+15\text{m}^3/\text{s}$ の範囲で順逆流を繰り返している。上部湖盆と中部湖盆の境界にあたる山口橋においても観音橋と同様な傾向の流量変動が観測されたことから、茨戸川

ではおよそ全区間に渡ってこのような順逆流が生じていると考えてよい。

このことは観音橋直下の下部湖盆に流入し、下水処理水を多く含んだ主要三川の流入水が中部湖盆側にも逆流していることを意味している。

表2・3は各湖盆の水位変化から交換流量を推定し、更にこれより滞留時間を算定したものである。また、図2・6にはこれら各湖盆の水取支と滞留時間を模式的に示した。

茨戸川の各湖盆では一般に富栄養化によるプランクトンの増殖が起こるといわれている約1週間を大きく

表2・3 茨戸川の交換流量と滞留時間

湖盆 (観測地点)	交換流量 ($\text{m}^3/\text{日}$) (各湖盆の水位変化 による推定値)		直接流域から の流入量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	④湖盆容量 ($H=0.5\text{TPm}$ 時) (m^3)	⑤交換流量から 算定した滞留時間 ^{※4} (日)
	①小潮日 ^{※2}	②大潮日 ^{※1}			
下部湖盆	約30万	約58万	約60万	約1,170万	30 (29~39)
中部湖盆 (観音橋)	約14万	約24万	約5万	約380万	22 (16~27)
上部湖盆 (山口橋)	約7万	約11万	約2万	約200万	24 (18~29)

※1：平成14年6月25日の各湖盆の水位変化から推定した流量

※2：平成14年8月1日の各湖盆の水位変化から推定した流量

※3：平成11年度(降水量が平均的)の降水量、下水道放流水実績、流域フレームから求めた値

※4：例) ⑤下部湖盆の滞留時間 = ④ $1,170\text{万m}^3 \div$ ① $30\text{万m}^3/\text{日} = 39\text{日}$

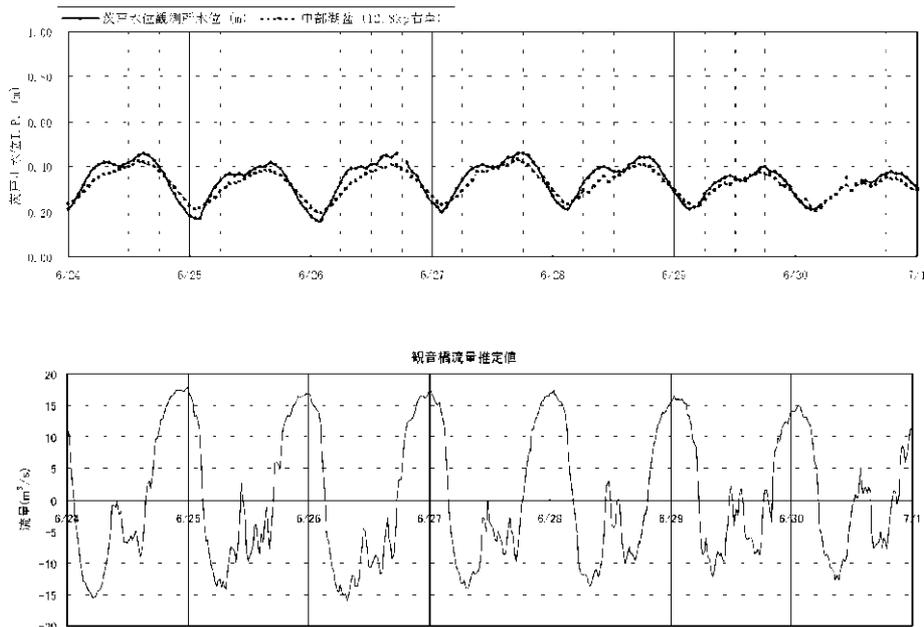


図2・5 茨戸川の水位及び観音橋の流量変動の観測例 (平成14年6月24日～7月1日；大潮日を含む)
(上図：水位変化，下図：流量変動)

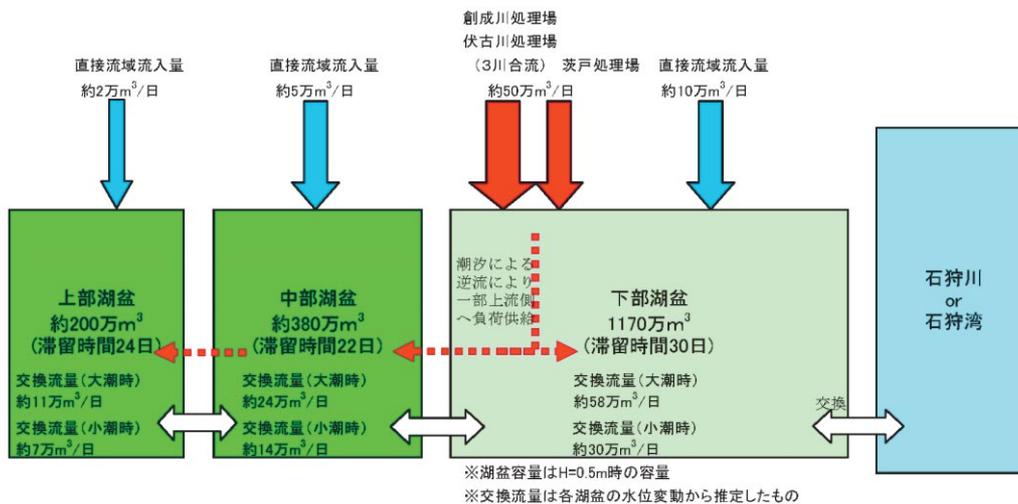


図2・6 茨戸川の水収支

超える20～30日間の水の滞留が起こっていることが分かる。

また、下部湖盆の上流部に流入し下水処理水を多く含む河川水は潮位変動に伴う逆流に伴って、中部湖盆側にも負荷を供給していることになる。このことは後述するが、直接流域からの負荷供給が少ない中部湖盆や上部湖盆においても植物プランクトンの増殖が著しい事実と関係するものである。

3. 負荷収支の特性検討

茨戸川の負荷収支特性を把握するために湖盆別・原因別の流域流入負荷量を以下のように算出した。

まず茨戸川の各湖盆に対応するように流域を全6ブロックに分割した(図3・1)。

次に各ブロックに対応する排出負荷量を下水道整備区域・未整備区域について算出した。下水道整備区域については下水処理場からの実績の放流量及び放流水質(札幌市下水道局資料)に基づき算出した。また、下水道整備区域の雨天時負荷を合流式下水道区域についてはポンプ場の実績放流量と平均水質から算出し、分流式下水道区域については雨水流出量(及び融雪量)と分流雨水の平均水質から算出した(平均水質は札幌

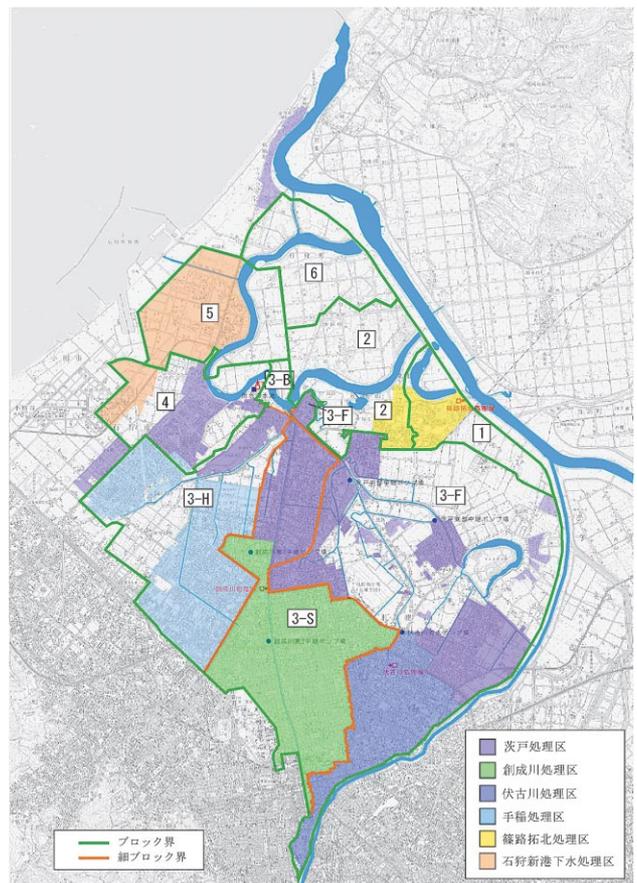


図3・1 流域ブロック及び下水道処理区

市下水道局調査資料による)。

下水道未整備区域からの排出負荷量については、各ブロックのフレーム調査を行い、点源（生活系・事業系系・畜産系）、面源（市街地・田畑・林地）毎に原単位（流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説）を乗じることにより算出した。

更に算出した下水道整備区域・未整備区域の排出負荷量に流出率を乗じることにより流入負荷量を算出した。

茨戸川の流入負荷量の算出結果（COD, TN, TP）を図3・2に示す。これより湖盆別では下部湖盆に流入する負荷量が大きく、全体の90%を超えている。下部湖盆への流入が大きいのは三川合流による流入量や茨戸処理場からの直接放流量が大きいためであり、前述のとおりこれらは下部湖盆の上流部に流入するものである。

原因別では下水道整備区域からの流入負荷量が大きく、処理場からの放流負荷と雨天時負荷を含めて全体のおよそ80%を占めている。下水道未整備区域からの生活排水・事業所排水・畜産排水による点源負荷は全体の5%満たない量である。茨戸川の流域では下水道

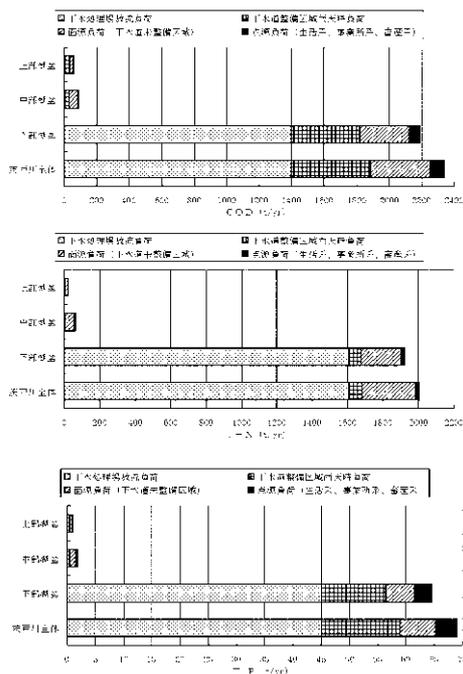


図3・2 湖盆別の年間流入負荷量

の水洗化人口普及率が99%と概ね完備されていること、全流域面積に対して約70%が下水道整備区域であることから下水道整備区域からの負荷が大半を占めている状況となっている。

4. 茨戸川の水質特性検討

4.1 茨戸川及び流入河川の水質動向

茨戸川及び流入河川の水質経年変化を図4・1, 4・2に示す（公共用水域の水質測定結果）。

茨戸川は全域が河川環境基準B類型に指定されており、BOD75%値は3mg/l以下の基準となっている。石狩川や石狩湾との交換がある下流部の生振3線地点のBODは上流側の地点よりやや低く概ね3~5mg/l程度で横這いの傾向を示している。上流の樽川合流前地点・生振8線地点では特に平成9年度頃からBOD75%値の低下傾向が見られる。一方で、流入河川のうち創成川の水質が、創成川処理場においてほぼ全量が高度処理（砂ろ過）されるようになった平成9年度以降はBODが環境基準値を達成するレベルまで低下してることから、流域の下水道整備をはじめとする各種水質保全対策による効果が茨戸川の水質低下につながっているものと考えられる。

しかし、依然として茨戸川ではBODが環境基準値を達成するには至っていないのが現状である。

また、茨戸川の総窒素（T-N）濃度は概ね5mg/l程度で推移しており、中部湖盆の生振8線地点に比較して下部湖盆の樽川合流前・生振3線地点の方がやや高いレベルにある。樽川合流前地点の直上流に流入する三川の総窒素濃度が、概ね茨戸川と同じかやや高いレベルにあり、近年は概ね横這いの傾向にあることから、下水処理水の流入の影響を下流地点がより強く受けているためと考えられる。

茨戸川の総リン（T-P）濃度は概ね0.1mg/l程度で推移している。ただし、中部湖盆の生振8線地点においては平成3年度頃から、やや低下傾向が見られてい

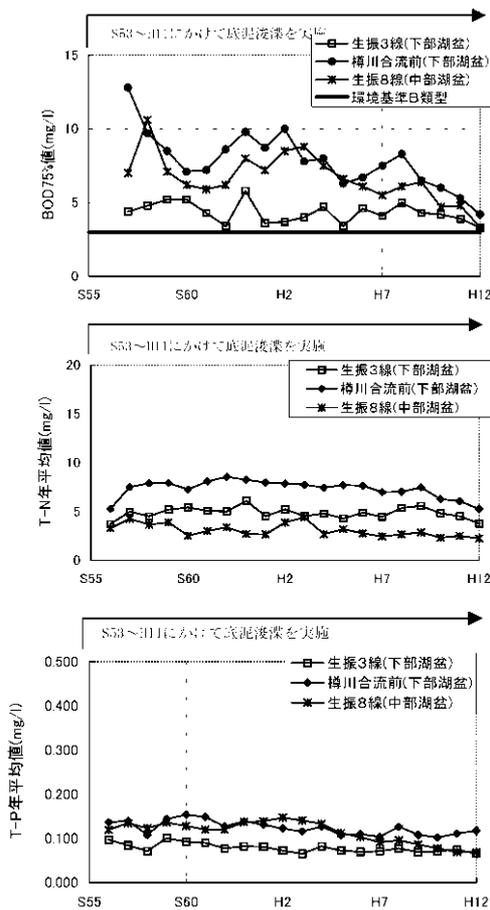


図4・1 茨戸川の水質経年変化 (BOD, TN, TP)

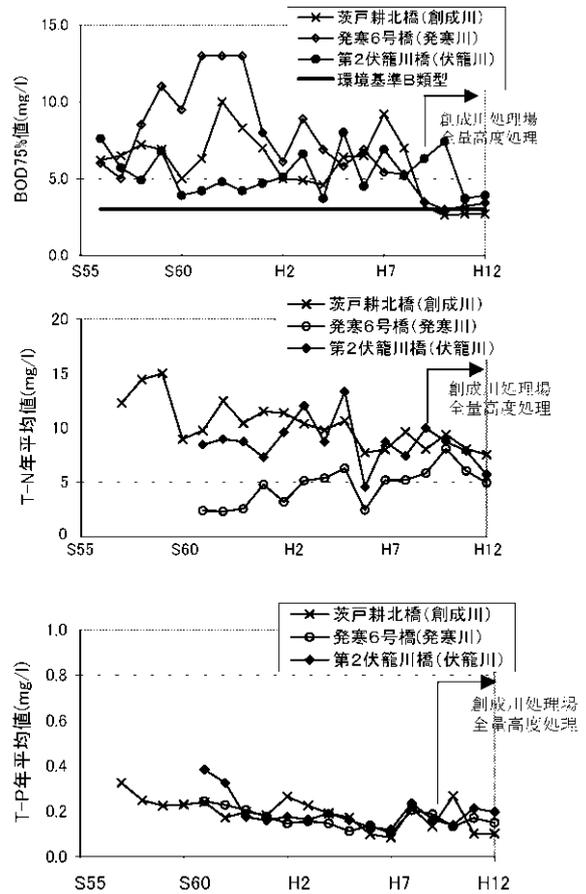


図4・2 流入河川の水質経年変化

る。平成3年～平成11年は茨戸川中部湖盆の浚渫が実施されており、中部湖盆の上流に位置し三川合流による水質変動の影響を比較的受けにくいと考えられる生振8線地点では、リン濃度低下に浚渫の効果が表れたと考えることもできる。

しかし、総じて茨戸川の窒素・リン濃度は、湖沼の様相を呈する状況下において、種々の流域対策がなされながらも依然として富栄養化が起こるに十分な濃度レベルとなっている。

4.2 茨戸川の富栄養化特性

前述したとおり茨戸川では、湖盆形状をなす地形的特長や潮汐による周期的な交換流の発生などにより水が停滞しやすく、平均滞留時間は概ね20～30日間程度

と長いこと、また下水道処理水を主とする窒素・リン成分に富んだ負荷の供給があることからプランクトンの増殖が起こりやすい条件が揃っている。

図4・3の経月変化に示すとおり、例年、水温が上昇する春季から秋季にかけてクロロフィルaの上昇が見られ、これに表わされる植物プランクトンの増殖、つまり内部生産による影響は大きく、BODの上昇とおおむね連動した傾向を示している。また、SSの変動傾向とも概ね連動しており、茨戸川の濁りがこの時期に大きくなるのは植物プランクトンの増殖によるところが大きいことが分かる。

このようなクロロフィルaとBODその他水質項目との相関関係を図4・4～4・7に示す。特にBODについては各地点とも比較的高い相関が見られた。また、地点別には中部湖盆のBODと総リンにおいてクロロフ

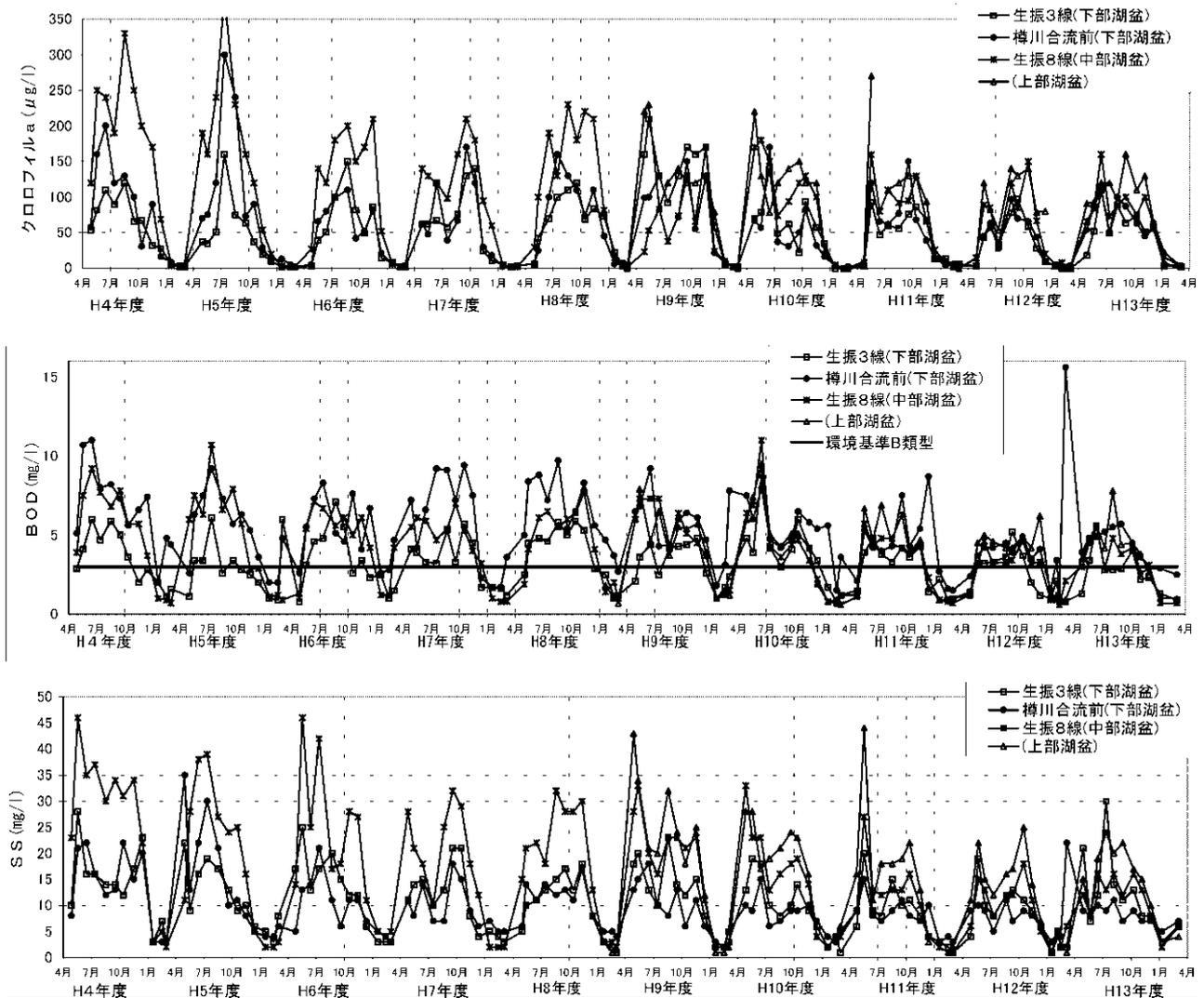


図4・3 茨戸川の水質季節変化 (chl.a, BOD, SS)

イルaとの最も高い相関が見られた。これは、中部湖盆では三川合流や茨戸処理場からの放流に代表される流入水量変動の影響、つまり滞留時間の変動が小さいことが植物プランクトン増殖との相関が表れやすいことにつながったと考えられる。一方、総窒素とクロロフィルaの間の相関性はいずれの地点も低いものであった。

また、一般にN/P比がおおよそ20を越える湖沼ではリ

ンが制限基質になっているといわれることに比較して、茨戸川のN/P比は生振8線地点でおおよそ30程度、樽川合流前及び生振3線地点ではおおよそ60程度と高い。また植物プランクトンの増殖の影響がより顕著に現れている中部湖盆において、リン濃度との相関が非常に高いことから、茨戸川ではリンが制限因子としてはたらいっていると考えられる。

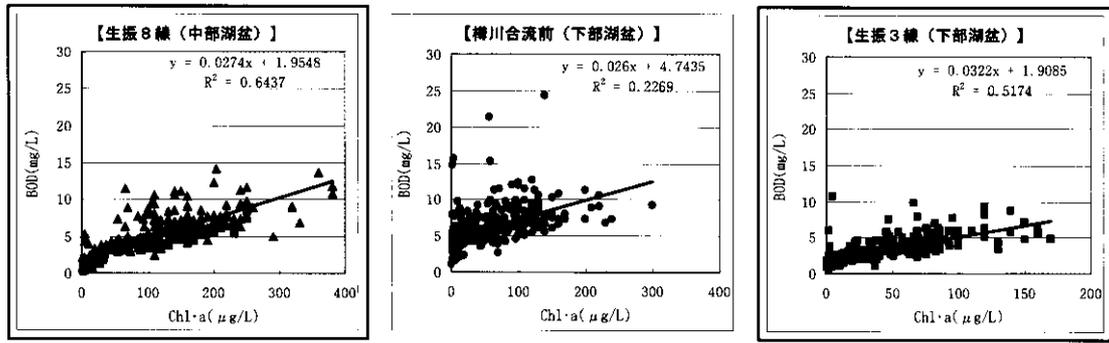


図4・4 BODとクロロフィルaの相関

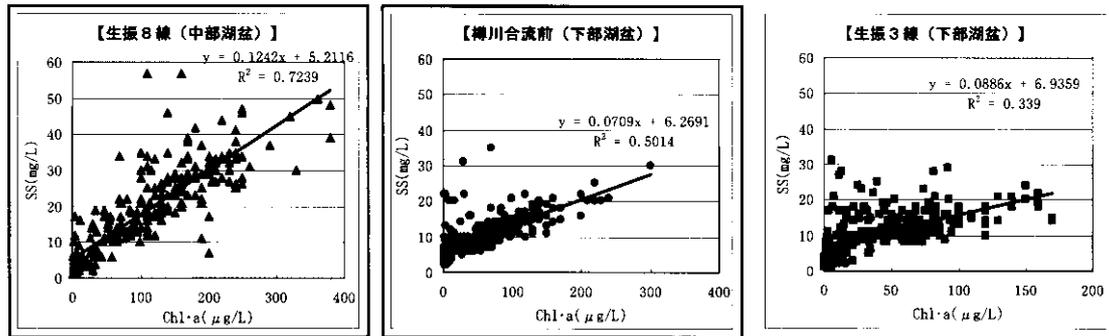


図4・5 SSとクロロフィルaの相関

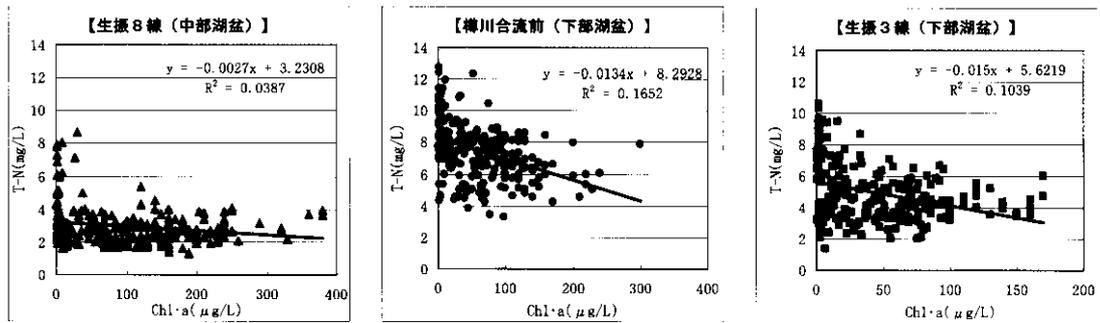


図4・6 TNとクロロフィルaの相関

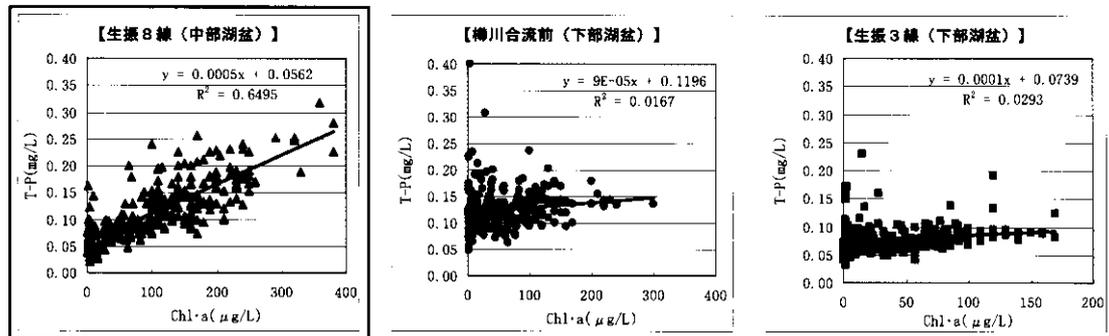


図4・7 TPとクロロフィルaの相関

相関係数R>0.7を太枠で囲んだ。

5. 水質保全対策検討

5.1 水質保全対策メニューと適用性

以上に述べてきた茨戸川特有の水収支や負荷流入の特性，それによる水質特性は以下のとおりに整理される。

(茨戸川の水収支特性)

- ・ 茨戸川の全流入水量のうち約9割は下部湖盆に流入し，三川合流及び茨戸処理場放流による流入量がほとんどを占めている。上部湖盆及び中部湖盆への流入量は1割未満とごく少ない。
- ・ 茨戸川では潮位変動に伴う交換流（順流・逆流）が周期的に生じており，下部湖盆から中部湖盆，中部湖盆から上部湖盆への逆流が生じている。
- ・ 茨戸川の湖盆容量と水位変化から推定される交換流量から算定した滞留時間は20～30日間である。

(茨戸川の負荷流入特性)

- ・ 茨戸川に流入する全負荷量のうち，9割を超える量は下部湖盆に流入し，その多くは三川合流及び茨戸処理場放流により流入している。また，その一部は逆流により中部湖盆より上流域へも供給されている。
- ・ 茨戸川流域は下水道がほぼ完備に近い状況であり，流入負荷のおよそ8割超は下水処理水に起因している。従って，栄養塩類（N,P）を多く含んだ流入がある。

(茨戸川の富栄養化特性)

- ・ 上記のとおり，茨戸川は河口部の閉鎖性水域特有の水の滞留と豊富な栄養塩の流入から，植物プランクトンの生産が盛んであり，これがBODやSSの上昇等，水質悪化の主因となっている。

「茨戸川清流ルネッサンスⅡ」では，このような状況により茨戸川の水環境が損なわれていることに鑑み，およそ10年以内にBOD3mg/l以下を目標として，下水道事業・河川事業・その他の流域対策が連携して緊急的に実施する水質保全対策を検討した。

これらの対策のうち，今後予定されている下水道事業については基盤的な流域負荷削減策として位置づけられ，合流式下水道の改善（伏古川川貯留管の設置；伏古川処理場），高度処理の導入（ステップ流入式消化脱窒法の導入；伏古川処理場），汚泥処理の集中化に伴う処理水質の改善（創成川処理場，茨戸処理場）が実施される予定である。

河川事業は下水道事業が実施された将来の水質改善効果を予測し，目標を達成するために必要な施策を選定する必要がある。検討にあたっては，前記のような茨戸川の水質形成の特徴を考慮した実効ある対策を選定することが重要である。

まず，河川事業として全般的に考えられ，以下に大別される水環境改善対策について，原理特徴，長所・短所等を総合的に整理した（表5・1）。

- ① 流入河川や湖水の直接浄化による負荷削減策
- ② 湖水の滞留改善や流量回復策として浄化用水の導水
- ③ 植物体を利用した栄養塩吸収や遮光
- ④ 底泥の浚渫による汚濁物質の除去・溶出抑制
- ⑤ 曝気によるDO供給

その結果，適用の可能性が考えられる対策として，①三川合流部に設置を想定したウェットランド，または湖内直接浄化，②茨戸川への浄化用水の導水（札幌北部地区河川の維持用水）を抽出し，これらの水質改善効果をシミュレーションモデルを用いて予測した。

5.2 水質予測モデルを用いた検討

5.2.1 水質予測モデルの概要

本検討で用いたのはDi Toroモデル※を基本とした富栄養化モデルであり，茨戸川の水質挙動の特徴である植物プランクトンの増殖による内部生産を表現できるモデルである。即ち，栄養塩（N，P）の流入による植物プランクトン（クロロフィルa）の増殖を表現できるモデルとした。

※Di Toroモデル 無機態窒素・リンによる植物プランクトンの生産を考慮した富栄養化モデル。参考文献6)

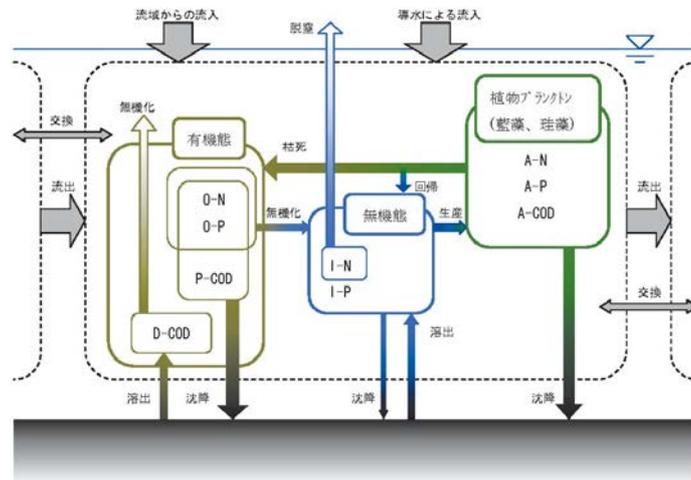


図5・1 予測モデルの物質収支概念図

記号A=植物プランクトン態、I=無機態、O=有機態、P=粒子態、D=溶存態

表5・1 河川事業の原理特徴と茨戸川への適用性

手法(案)	原理・手法の概要		○長所、▲短所(※茨戸川への適用性)	対象
浄化用水(維持用水)の導水	滞留改善 流量回復	滞留改善による内部生産(植物プランクトン増殖)の抑制、河川の維持流量確保。	○湖沼の様相を呈し内部生産が汚濁の主因となっている茨戸川では、滞留改善による水質改善を期待できる。 ○流量が枯渇した札幌北部地区河川のせせらぎ回復が期待できる。 ▲導水元(豊平川)の維持流量の確保を考慮する必要がある。 ※豊平川からの導水(創成川ルート、雁来ルート)、石狩川からの導水(石狩川ルート)が考えられる。	○
ウェットランド	沈殿	流入河川の流末付近に河川内沈殿池を設け、流入河川からの懸濁物質をトラップする。	○出水時や導水時の流入濁質の沈殿除去による負荷削減策として考えられる。 ▲河川内沈殿池の堆積物を定期的に浚渫除去し、機能を維持する必要がある。 ▲流水阻害となる可能性が有る。 ※三川合流部への設置が考えられる。	○
底泥の浚渫 河道の浚渫等	除去	底泥中の汚濁物質を系外除去するとともに、底泥からの栄養塩類の供給を抑制する。	○河道の掘削は、底泥の堆積時に河道維持や景観保全の面から有効な施策である。 ▲底泥の浚渫は、再堆積時には繰り返し実施することが必要となり、恒久的・抜本的な対策とはならない。 ※札幌北部地区河川の河道の浚渫は、堆積状況を把握し、必要に応じて実施する。 ※茨戸川の底泥浚渫はこれまでに下部~中部湖盆について実施されたが、上部湖盆では排泥ヤード確保が難しい。	
曝気	酸素の溶解	噴水や散気管などを用いて人工的に河川水に酸素を供給しDOを高める方式。	○DOの上昇により、水生生物の生息環境が向上する。 ▲茨戸川全域の底層水DOを改善するためには大規模となり、維持管理費が大きい。 ※茨戸川内への曝気施設の設置が考えられる。ただし、DO回復が主な効果であり、BODやリンの直接的な削減策とはなりにくい。	
礫間接触酸化法 プラスチック等接触酸化法	接触沈殿 + 微生物	礫やプラスチック材のろ材を通過する際に生じる接触沈殿と生物膜(微生物)による吸着、酸化、分解。	○特に懸濁成分が多い水に対して有効であり、懸濁態の有機物(植物プランクトン体BOD)や富栄養化原因物質であるリンを直接除去する手法として考えられる。 ▲礫を接触材とする場合は空隙が小さいため広い敷地面積が必要となる。プラスチック材とする場合は敷地面積は小さくなるが接触材自体が高価である。 ※下流への効果も期待できることから湖容量が小さく、比較的敷地面積が小さくて済む上部湖盆へのプラスチック材による浄化施設の設置が考えられる。	○
木炭浄化法	ろ過 + 微生物	木炭によるろ過と、木炭表面の生物膜(微生物)による吸着、酸化、分解により浄化する方式。	○ろ材として廃材(ダム流木等)の再生材などの再利用が可能である。 ▲流入水のSSが高い場合には、ろ材洗浄等の目詰まり対応が必要となる。 ※目詰まり対応などの維持管理手間が大きい点から、同様の手法の中からプラスチック材を用いた場合について検討する。	
植生浄化法(ヨシ原浄化)	植物体利用	植物体による接触沈殿による浄化方式。根による窒素、リンの直接吸収、土壌による吸着、分解もあるが浄化機能としては小さい。	○自然植生の利用も可能で、景観とも調和し住民へのアピール効果を期待できる。 ▲広い面積が必要となる。 ▲浄化期間が植物の生育期間に限られる。 ※湖容量が小さく、比較的敷地面積が小さくて済む上部湖盆への設置が考えられる。	○
浮葉植物浄化	植物体利用	浮葉性の水生植物による接触沈殿と根による窒素、リンを直接吸収することによる浄化方式。遮光による内部生産抑制。	○水生生物は自然植生が利用できる。 ▲枯死前の植物体(有機物)を回収する必要がある。 ▲漁船やレジャーボートの航行の妨げとなる。 ※浮葉植物体の回収手間、漁業への妨げの点から対象外とする。	
湖岸帯浄化	植物体利用	湖岸帯の自然植生(ヨシ等)を利用した湖水の浄化。植物体による接触沈殿による浄化方式。	○自然植生の利用も可能で、景観とも調和し住民へのアピール効果を期待できる。 ▲広い面積が必要となる。 ▲浄化期間が植物の生育期間に限られる。 ▲湖岸帯へ水を導水する必要がある。 ※植生浄化法と同様の原理によるが、茨戸川の湖岸帯のみでは面積が不足するため検討外とした。(3m ³ /s処理の場合、幅10m×延長28kmが必要)	
土壌浄化法	ろ過 + 吸着	土壌によるろ過、吸着及び土壌中の微生物による酸化分解による浄化方式	○細かい土壌粒子によるろ過であるため、浄化水は極めて清澄である。リンの浄化効果が高い。 ▲広い敷地面積を必要とする。 ▲土壌表面に目詰まりが発生するため、その耕起、かきとりが必要となる。 ※広大な敷地を必要とすることや維持管理手間が大きいことから不適。(3m ³ /s処理の場合、幅100m×延長900m)	

また、茨戸川の流下過程における水質の変化，時間的な変化を表現できるモデルとして，湖内を縦断方向に6つに分割した完全混合型ボックスモデルとし，ボックス毎に水質の経時変化（経日変化）を表現できるモデルを用いた。ボックス毎に，対応する流域ブロックからの負荷流入を考慮し，これにより下水道施策等の流域対策の効果を把握した。

また，茨戸川は河川指定されており環境基準の有機物指標としてBODが設定されているが，湖沼的な色合いが強い水域では富栄養化の有機物指標としてCODを用いた収支モデルとするのが一般的であることから，これを直接のアウトプットとして得られるモデルを用いた。ただし，「清流ルネッサンスⅡ」ではBODが目標項目とされたため，得られたアウトプットCOD値を実測値BOD/COD比に基づいてBODに換算した。

(モデル基礎式)

水収支については流域からの流入水量 Q_r ，潮位変動の影響による交換流量 Q_{mu} ，導水量 Q_{dousui} の経時変化を表現し，連続式による水収支モデルとした。但し流入量の変動に関わらず，各BOXの容量（水位）は一定とした。

- $Q_{out}(i) = Q_r(i) + Q_{in}(i) + Q_{dousui}(i)$
- $Q_r(i)$: i 水域への流域からの流入量 ($m^3/日$)
- $Q_{in}(i)$: i 水域への $i-1$ 水域からの流入量 ($m^3/日$)
- $Q_{out}(i)$: i 水域からの $i+1$ 水域への流入量等 ($m^3/日$)
- $Q_{dousui}(i)$: i 水域への導水量 ($m^3/日$)

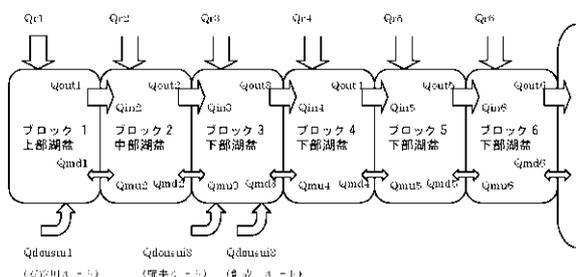


図5・2 予測モデルの水収支模式図

本モデルでは窒素・リン濃度，日射量，水温を植物プランクトン（クロロフィルa）の増殖速度決定のファクターとした。また，植物プランクトンの増殖・死滅・沈降等の増減は有機物指標としているCODに反映される構造となっている。クロロフィルaの収支を以下の式で表している。（その他，各物質収支のモデル式の詳細はここでは省略するが，図5・1に示す物質変換をモデル中で表現している。）

植物プランクトン（クロロフィルa）の収支式

植物プランクトンの濃度変化は生産・消費速度，移流拡散速度，沈降速度により表現している。生産・消費速度は増殖速度と死滅速度の差であり，増殖速度は栄養塩濃度，照度，温度の関数となっている。

$$G_p = \mu_{max} \times f_N \times f_l \times f_T$$

- μ_{max} : 最大比増殖速度 (1/日)
- f_N : 栄養塩濃度に関する影響関数
- f_l : 照度に関する影響関数
- f_T : 温度に関する影響関数

$$\frac{dP}{dt} = S(P) + F(P) + V(P)$$

↓

$$S(P) = (G_p - D_p) \cdot P$$

植物プランクトンの
濃度変化

植物プランクトン
の生産・消費速度 増殖
速度 死滅
速度

構築されたモデルを用いて，パラメーター値を設定し（表5・2），現況再現計算を行いモデルの妥当性を検証した。本モデルにより図5・3，図5・4に示すとおり，植物プランクトンの増殖，それによる有機物の変動傾向を概ね再現することができた。

また，モデルによるCOD計算結果を茨戸川の実測値BOD/CODによりBODへ換算した結果，概ね現況実測値と合致した（図5・5）。

表5・2 各モデル定数の設定値

パラメータ		単位	一般値(参考値)	設定値	備考
COD溶出速度 $Y_C \cdot \theta_C^{T-20}$	溶出係数 y_C	mg/m ² /日	-	地点毎に設定 (68~246)	実測値 により設定
	温度定数 θ_C	-	-	1.06	
IN溶出速度 $Y_N \cdot \theta_{IN}^{T-20}$	溶出係数 y_N	mg/m ² /日	0~0.15	地点毎に設定 (30~386)	
	温度定数 θ_{IN}	-	-	1.06	
IP溶出速度 $Y_P \cdot \theta_{IP}^{T-20}$	溶出係数 y_P	mg/m ² /日	0.002~0.36	地点毎に設定 (5.7~19.7)	
	温度定数 θ_{IP}	-	-	1.06	
最大増殖速度		1/日	0~11.4	1.5(その他) 1.2(珪藻)	既往の調査 研究による 一般値を基 本とし設定
死滅速度		1/日	0.01~0.5	0.1	
植物プランクトン中のCOD物質と クロロフィルa量の比		mgCOD / μ g-Chla	0.05~0.15	0.07(その他) 0.07(珪藻)	
植物プランクトン中の窒素量と クロロフィルa量の比		mgN/ μ g-Chl-a	0.002~0.01	0.008(その他) 0.008(珪藻)	
植物プランクトン中のリン量と クロロフィルa量の比		mgP/ μ g-Chl-a	0.0007~0.004	0.0007(その他) 0.0007(珪藻)	
COD分解速度 $K_{DC} \cdot \theta_{DC}^{T-25}$	分解速度定数 k_{DC}	1/日	0.005~0.5	0.25	
	温度定数 θ_{DC}	-	1.05~1.08	1.06	
窒素無機化 分解速度 $k_{DN} \cdot \theta_{DN}^{T-25}$	無機化分解 速度定数 k_{DN}	1/日	0~0.42	0.20	
	温度定数 θ_{DN}	-	1.05~9.03	1.06	
リン無機化 分解速度 $k_{DP} \cdot \theta_{DP}^{T-25}$	無機化分解 速度定数 k_{DP}	1/日	0.001~1.6	0.20	
	温度定数 θ_{DP}	-	1.05~9.03	1.06	
脱窒速度		g/m ² /日	0.02~0.09	0.08	
最適水温		℃	15~35	25(その他) 15(珪藻)	
上限水温		℃	-	40(その他) 30(珪藻)	
下限水温		℃	-	10(その他) 5(珪藻)	
飽和日射量		cal/cm ² /日	300~400	400(その他) 350(珪藻)	
窒素のミカエリス定数		mg/l	0~1.0	0.08(その他) 0.08(珪藻)	
リンのミカエリス定数		mg/l	0.0005~0.15	0.008(その他) 0.008(珪藻)	
窒素の回帰率		-	-	0.02	
リンの回帰率		-	-	0.02	
沈降速度 ω	プランクトン	m/日	0~3	0.2	
	P-COD	m/日	0~3	0.1	
	O-N	m/日	0.01~3	0.1	
	O-P	m/日	0.01~3	0.1	
	I-P	m/日	-	0.5	

一般値は霞ヶ浦技術レポート、土木研究所資料2443号「貯水池の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値解析」(昭和62年3月)、水理公式集、国立公害研究所研究報告第54号「陸水域の富栄養化防止に関する総合研究(V)」(昭和59年)、湖沼工学(平成2年3月)の5資料を参考とした。

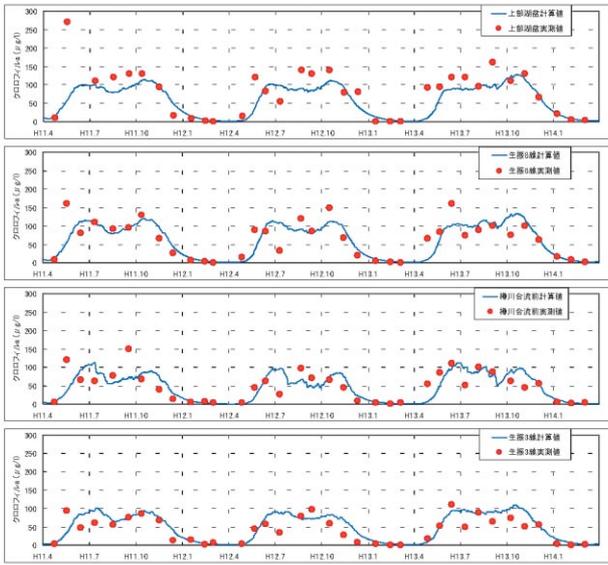


図5・3 現況再現結果（クロロフィルa）

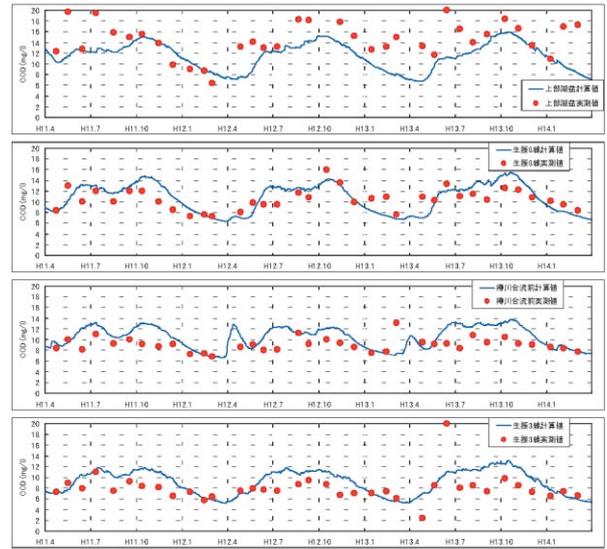


図5・4 現況再現結果（COD）

5.2.2 将来流入負荷量

更に本モデルを用いて、目標年である平成24年の将来水質予測を行うために、将来流入負荷量を算定した。平成11年現況の負荷量をベースとして、人口トレンド予測より単純将来（新たな下水道整備及び河川事業が進捗しないケース）、下水道施策将来（合流改善・高度処理などの新たな下水道施策が進捗したケース；表5・4）について算定した。その結果、茨戸川流域では現況に対して単純将来時の流入負荷量は若干の人口の伸びにより約1%程度の伸びとなり、ほとんど変化しないものと予測された。また、下水道施策の実施により、茨戸川への全流入負荷量が下表の通りおよそ10%削減されると予測された。

表5・3 将来流入負荷量の比較（単位 t/年）

	H11現況	H24単純将来	H24下水道施策将来
COD	2,335	2,361	2,145 (10%削減)
T-N	2,005	2,039	1,811 (13%削減)
T-P	67.6	68.3	61.1 (12%削減)

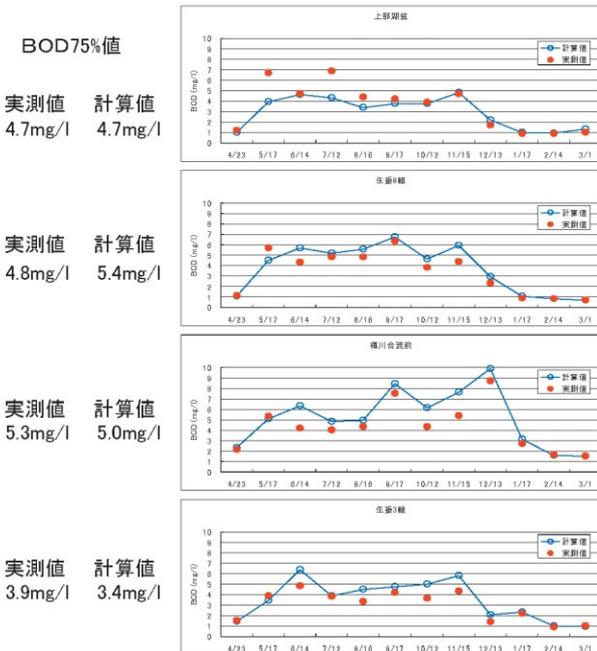


図5・5 現況再現結果（BOD）

表5・4 下水道事業計画

処理区	事業主体	改善対策	清流ルネッサンスⅡでの対策
創成川 処理区	札幌市	普及促進	下水道計画区域内の未整備地区の整備を行うなど今後も継続して普及を図る。
		汚泥処理の集中化	西部スラッジセンターで汚泥の集中処理を導入する。
伏古川 処理区	札幌市	普及促進	下水道計画区域内の未整備地区の整備を行うなど今後も継続して普及を図る。
		高度処理	伏古川処理場にて高度処理（ステップ流入式硝化脱窒法）を導入する。
		合流改善	伏古川処理区貯留管（32,000m ³ ）の新設。
茨戸 処理区	札幌市 石狩市	普及促進	下水道計画区域内の未整備地区の整備を行うなど今後も継続して普及を図る。
		高度処理	茨戸処理場の現状施設で処理水質の高度化を図りつつ、設備の更新に併せて更なる高度処理の導入を検討する。
		汚泥処理の集中化	西部スラッジセンターで汚泥の集中処理導入を検討する。
屯田 都市下 水路	石狩市	清掃	河道確保のため屯田都市下水路の底泥除去を行う。

5.2.3 水質保全対策の効果予測

算定した将来流入負荷量を入力条件として、以下のケースについて対策効果を予測した。

- ① 平成11年現況（比較対象年）
- ② 平成24年単純将来
- ③ 平成24年下水道施策将来

以下のケースは③に加えて、実現可能と考えられる河川事業の水質保全対策規模を以下のように想定し、実施した場合について予測を行った。

④ 「浄化用水の導水」

豊平川から創成川及び伏籠川を經由して茨戸川へ導水する2ルートと石狩川から上部湖盆へ直接導水する1ルートにより合計導水量6.0m³/sを茨戸川へ導水する。（表5・5、図5・5）

⑤ 「ウェットランド」

三川合流部直下に水深6m、対象水量8m³/s規模の湖内沈殿池を造成し、流下する懸濁物をトラップする。霞ヶ浦の設置事例を参考に、懸濁態のCOD及び窒素除去率14%、リンの除去率34%を想定した。施設面積は約39千m²が必要となる。

⑥ 「湖内直接浄化（プラスチック材による接触酸化法もしくは植生浄化）」

上部湖盆周辺に3m³/s規模の浄化施設を設置し、湖水を直接取水し浄化する。懸濁態のCOD・窒素・リンの除去率を60%と想定した。施設面積は接触酸化法の場合約10千m²、植生浄化の場合約540千m²が必要となる。

表5・5 浄化用水の導水

導水 ルート	対象河川		導水元	導水量
	札幌北部 地区河川			
創成川 ルート	創成川 新琴似川 発寒川	茨戸川	豊平川	1.5m ³ /s
雁来 ルート	伏籠川 雁来川 苗穂川 丘珠藤木川 丘珠5号川 丘珠川 伏籠古川 旧琴似川放水路 雁来新川 旧琴似川	茨戸川	豊平川	2.5m ³ /s
石狩川 ルート	-	茨戸川	石狩川	2.0m ³ /s

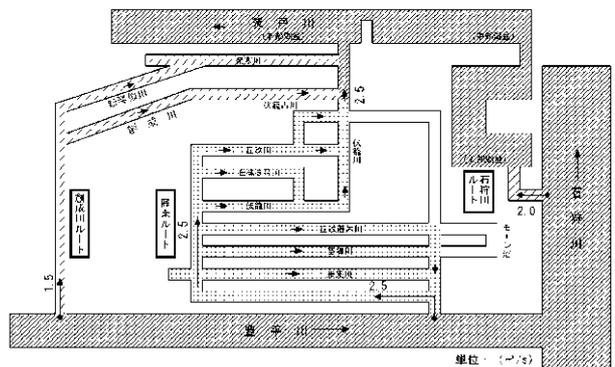


図5・6 浄化用水の導水ルート模式図

以上の水質保全対策の効果を予測した結果 (BOD75%値) を表5・6、図5・7に示す。

平成11年現況に比較して、平成24年の単純将来時の水質は、流域の流入負荷量もほとんど伸びが無いことから変わらない。これに対して、下水道事業施策将来では流域負荷の約10%の削減により、BODは下部湖盆樽川合流前地点で0.3mg/lや中部湖盆生振8線地点0.2mg/lの低減が期待されるが、下水道事業のみでは目標達成は困難であり、河川事業による水質保全対策が必要であると予測された。

下水道事業に加えて河川事業による水質保全対策を実施した場合の効果を比較すると、⑤ウェットランドを実施した場合に0.4~1.0mg/l、⑥湖内直接浄化等の負荷削減策を実施した場合に0.2~1.3mg/l、BODが低減するのに対して、④浄化用水の導水を実施した場合に0.5~2.2mg/lの低減となり最も効果が大きく、目標値であるBOD75%値3mg/l以下を概ね達成できるものと予測された。

また、ここで想定した対策規模からBOD1mg/l改善あたりの費用 (建設費+維持費) を比較すると、導水の場合が約30億円であるのに対してウェットランドや直接浄化はその2~3倍程度の費用が必要と算定され、経済性の面からも導水のほうが有利であることが分かった。

つまり、閉鎖性河口域に位置し、栄養塩類が豊富で富栄養化による水質汚濁が進んでいる茨戸川においては、直接浄化やウェットランドのような「負荷削減策」よりも、浄化用水の導水による「流動改善等による内部生産抑制策」の方が効果的かつ経済的で適用性が高いと結論づけられた。

6. おわりに

本研究は「茨戸川清流ルネッサンスⅡ 地域協議会」が水環境改善緊急行動計画を策定する過程において、同協議会の指導のもと、解析検討作業を行ったものである。地域協議会は学識者、行政機関、NPOや農業・

表5・6 水質改善効果の予測結果 (BOD75%値 mg/l)

予測ケース	上部湖盆	生振8線	樽川合流前	生振3線
①H11現況	4.7	5.4	5.0	3.4
②H24単純将来	4.7	5.4	5.0	3.4
③H24下水道施策将来	4.6	5.2	4.7	3.4
④ ③+浄化用水の導水	2.6	3.0	3.0	2.9
⑤ ③+ウェットランド	3.6	4.2	4.3	3.0
⑥ ③+湖内直接浄化	3.3	4.4	4.5	3.1

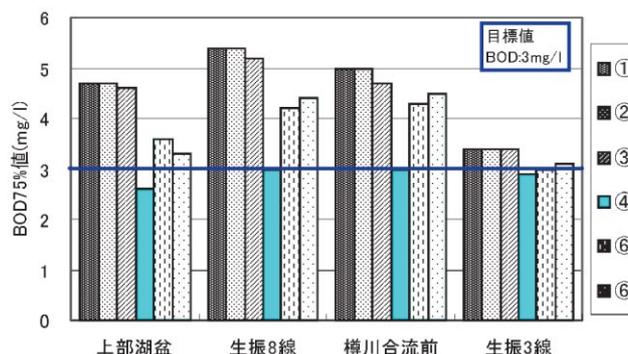


図5・7 水質改善効果の予測結果 (BOD75%値 mg/l)

漁業関係者等の流域住民から構成され、水環境改善施策の評価・選定にあたっては同協議会において逐次結果を報告し、様々な指摘や意見を仰ぎながら、検討に反映していったものである。

評価選定した浄化用水の導水は、「茨戸川清流ルネッサンスⅡ」における河川事業の一つとして位置づけられ、また、この導水事業は茨戸川の水質改善のみならず、流量が枯渇している札幌北部地区河川の「維持用水」としても位置づけられ、流域住民にとって身近なせせらぎを回復するための有効策として機能することも期待されているところである。

ただし、導水元河川である豊平川の維持流量確保、導水実施による流域からの新たな濁り成分の流下、石狩川からの塩分や濁りの持ち込みの可能性など課題事項も残されており、今後、事業実施に向けて各ルートでの調査・検討・設計が更に進められていく予定となっている。

本稿では、閉鎖性河口感潮域に位置し富栄養化によ

る水質悪化が問題となっている茨戸川を対象として、適切な水質保全対策を評価選定するべく、その要因となっている水収支特性・流域負荷特性や将来動向、水質動向等を踏まえた上で、対策効果を予測評価した一例を紹介した。

水質汚濁が問題となっている水域では、個々に独特の水収支特性や流域負荷特性を有しているはずであり、水質保全対策を実施するにあたっては、これらの特徴を十分に把握し、水質機構に立脚した対策の抽出と検討を行うことが重要であることを記して終わりとする。

参考文献

- 1) 札幌市下水道局(1992～2001)；維持管理年報
- 2) 社団法人日本下水道協会；流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 平成11年版
- 3) 北海道生活環境部(1977～2001)；公共用水域水質測定結果
- 4) 水資源開発公団試験研究所水環境研究室(1996)；試験研究所報告書第96401号 ダム貯水池の水質
- 5) 国土交通省河川局河川環境課(2001)；河川直接浄化の手引き
- 6) 建設省土木研究所ダム部水資源開発研究部(1987)；土木研究所資料第2443号「貯水池の例濁水ならびに富栄養化現象の数値解析モデル(その1)」

2. 鶴見川の新しい水質環境保全対策について

佐藤 和明* 岸田 弘之** 渡辺 拓***

1. 鶴見川の水質問題の背景

鶴見川はその源を東京都町田市上小山田町に発し、多摩丘陵を東流し、恩田川、鳥山川、早淵川、矢上川等をあわせ流向を南東に転じ、京浜工業地帯の横浜市鶴見区内を湾曲して流下し東京湾に注ぐ、流域面積235km²、幹線流路延長42.5kmの河川である(図1・1)。

東京・横浜・川崎といった大都市に控えた鶴見川流域は、地形・地理的条件の良さといまわって、昭和30年代から急速に開発がすすめられた。平成11年では、流域の85%が市街化されており、流域人口は約184万人に達しており、鶴見川は典型的な都市河川である。

このため、流域ぐるみの治水対策の必要性は言うまでもないが、多様な水質問題がこれまでに指摘され、対策が求められてきた。

このような状況下で水質問題の主たる対策として、下水道の整備がすすめられた。鶴見川流域では、町田市(東京都)、川崎市、横浜市(神奈川県)で公共下水道が整備されており、鶴見川流域内には7カ所の下水処理場より処理水が放流されている。排除方式は下流部で合流と分流が併用されており、その他は分流式である。下水道普及率は各処理区とも90%以上であり、横浜市の処理区では99%となっている。その結果、有機汚濁対策については、下水道未整備の上流域を除き、



図1・1 鶴見川流域の概要図

* (財) 河川環境管理財団 技術参与
** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第2部長
*** (財) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第2部 研究員

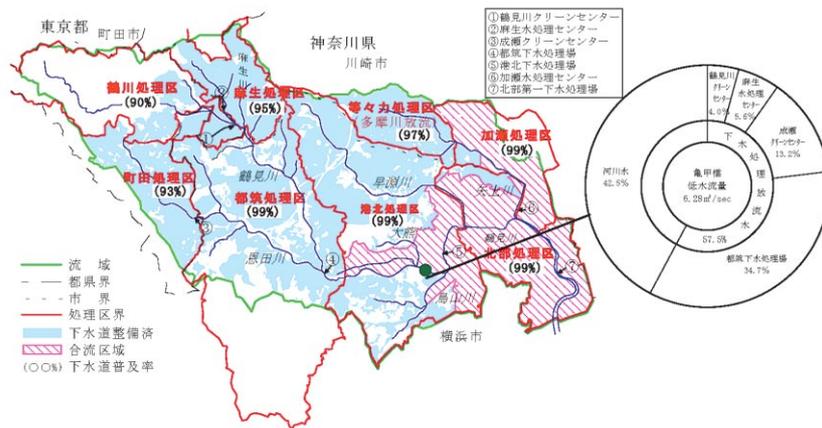


図1・2 鶴見川流域の下水道整備状況および、亀甲橋低水流量に占める下水道処理水量の割合

一定の成果を得てきた。また下水道の普及に伴い、河川水に占める下水処理水の割合も高くなり、中流の亀甲橋地点の低水流量に対して下水処理水が約60%（平成12年度）を占めている（図1・2）。

一方で都市域における憩いの場や生物生息空間として、住民団体を中心に鶴見川に対する市民サイドの関心も高まっており、よりよい河川環境を求める動きも活発になっている。河川利用実態調査結果をみても、散策・水遊びで利用する人が多く、特に近年は水遊びの利用も増えてきており、こうした住民による川の利用の活性化・ニーズの増大によって、求められる水質レベルもより良好なレベルになっていることが考えられる。

このように、鶴見川では、従来の水質改善の主要施策である下水道整備が進捗している状況下で、更なる水質改善を進めるといふ、新しい形の取り組みが求められており、治水対策と同様に、流域住民・企業・行政の連携による新しい水質環境保全対策を進めていくことが必要と考える。

この連携を主体とした水質環境保全対策を円滑に進めるためには、図1・3に示す手順が重要と考えられる。すなわち、住民・企業に水質の現状を正確に知ってもらい、それを出発点として、水質の問題点は何であり、その要因（汚濁源）が何であるのか。対策としてはどんな対策が有効で、住民・企業・行政の役割はどのようになるのかといった事項を共通認識する必要がある。

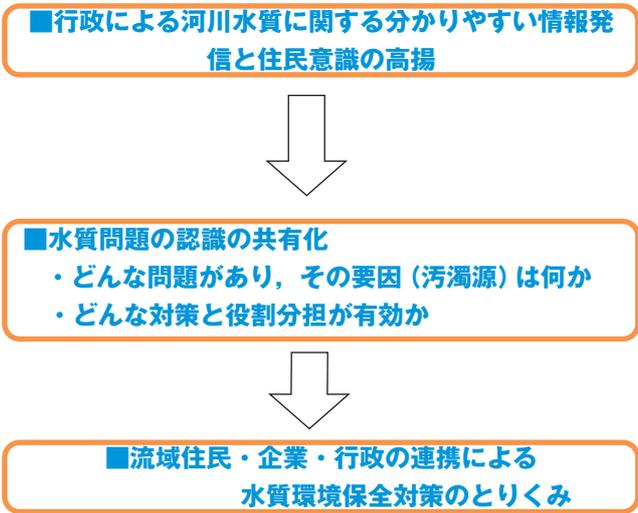


図1・3 鶴見川の新しい水質環境保全対策の流れ

2. 検討の主旨

水質環境保全対策の推進を図るために、図1・3に示す手順の実施を考えた場合に、現状の鶴見川では解決すべき以下の課題があり、本研究ではこの課題解決に向けて検討を進めた。

(1) 河川水質に関する分かりやすい情報発信

従来、河川水質の評価は、有機汚濁の指標であるBODによる評価が一般的である。鶴見川の水質を説明する際にも、「全国一級河川における水質ワーストランキングで上位を占めており（H14年度ではワースト1位¹⁾）、最も水質濃度の高い亀甲橋地点では環境基

準を未だ未達成である」という説明が一般的である。

この説明は鶴見川がいか「汚れているか」を住民に効果的に示しているが、一方であまりにも「ワースト」のイメージが先行してしまった感がある。鶴見川には確かによごれている区間もあるが、それがすべてでなく流域全体を見渡せば、清浄な支川や魚が多くいる区間も多い。

また、先述したように近年地域の人々の中には、鶴見川の良さを再確認し、それを高めていこうという動きがあり、水質に対する評価も「この川の水にふれてもいいのか」「川に入っても問題ないのか」「生物の生息環境として十分なのか」を求めるようになってきている。BODによる水質評価は「有機汚濁」の程度を示すには優れているが、このような水質評価には十分対応できない指標である。住民のニーズに対し、行政も河川水質についての情報提供を「汚れがどの程度か」から「どの程度きれいか」に変えていく必要があるとみなすこともできる。

さらに、図2・1に示すように、鶴見川のBODは他河川に比べ、窒素由来のBOD (N-BOD) の占める割合が多いという特徴があるために、一般の有機性汚濁河川と異なり、BODが高いことで、どんな問題が起こるのかを理解しにくい状況にある^{注1}。

それゆえ、本研究ではBODによる評価に代わる水質の現状を分かりやすく評価するツールを検討し、「鶴見川水質管理の目安」を設定した。

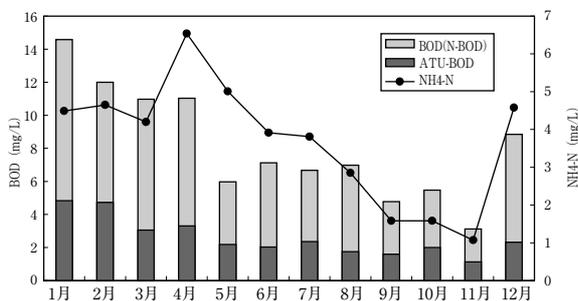


図2・1 鶴見川(亀甲橋)のBODとNH4-N
(平成13年)
(公共用水域水質調査結果の平均値)

注1：BOD (生物化学的酸素要求量) は、溶存酸素の存在のもとで、水中の分解可能な物質が、生物化学的に安定化するために要求する酸素の量をいい、20℃で5日間に消費された酸素量 (O) をmg/Lで表したものである。ここで、硝化細菌が繁殖した試料では、5日間の培養期間中に有機物質の分解と並行して硝化作用が起こり、有機物質の分解に要する酸素量 (C-BOD) に硝化に要する酸素量 (N-BOD) が加算されて、BOD として測定されることがある。2)

(2) 水質問題の認識の共有化

鶴見川の水質問題と言っても、ある水質項目が高いこと自体が問題なのではなく、それによって、川の親水性や景観あるいは水生生物の生息・繁殖環境として川がもつ機能が阻害されることが問題である。これを常に念頭に、図2・2に示すような整理をしたうえで、住民と水質問題の共有化を図ることが重要である。

このように川の機能別に整理した水質問題について、主なものを表2・1に示す。これら水質問題を引き起こす汚濁要因は、鶴見川の上流、下流などその流域背景によって特徴が異なっている。主な汚濁源を図2・3に示す。

水質問題の共有化を図るためには、これら異なる汚濁要因、水質問題に対して、どんな対策があつてどの程度効果があるのかを明確にする必要があるが、下水道整備以外にどんな対策がどの程度効果があるのかはあまり検討されてきていない。

そこで、本研究では、鶴見川流域で特徴的な汚濁源をもついくつかの小流域をモデルケースとして、ある目標の水質レベル達成に向けた有効な対策抽出の考え方を検討し、汚濁源の特徴に応じた効果的な水質環境保全対策メニューを提案した。

表2・1 鶴見川における主な水質問題

川の機能	主な水質問題	汚濁要因
親水性・景観	・ 糞便性大腸菌群数が高いことやゴミが多いことによる親水機能・景観の低下	・ 下水道未接続地域からの汚濁負荷
生物の生息・繁殖環境	・ 生物の毒性のあるNH4-N濃度が高い	・ 下水道放流水の汚濁負荷
東京湾の水質保全	・ 東京湾へ流入する栄養塩類濃度が高い ・ 降雨時に高濃度の汚濁物質が下流域や東京湾へ流出する	・ ノンポイント汚濁負荷

【川が満たすべき機能】

【現状において考えられる課題 鶴見川で起きていること、起こりうること】

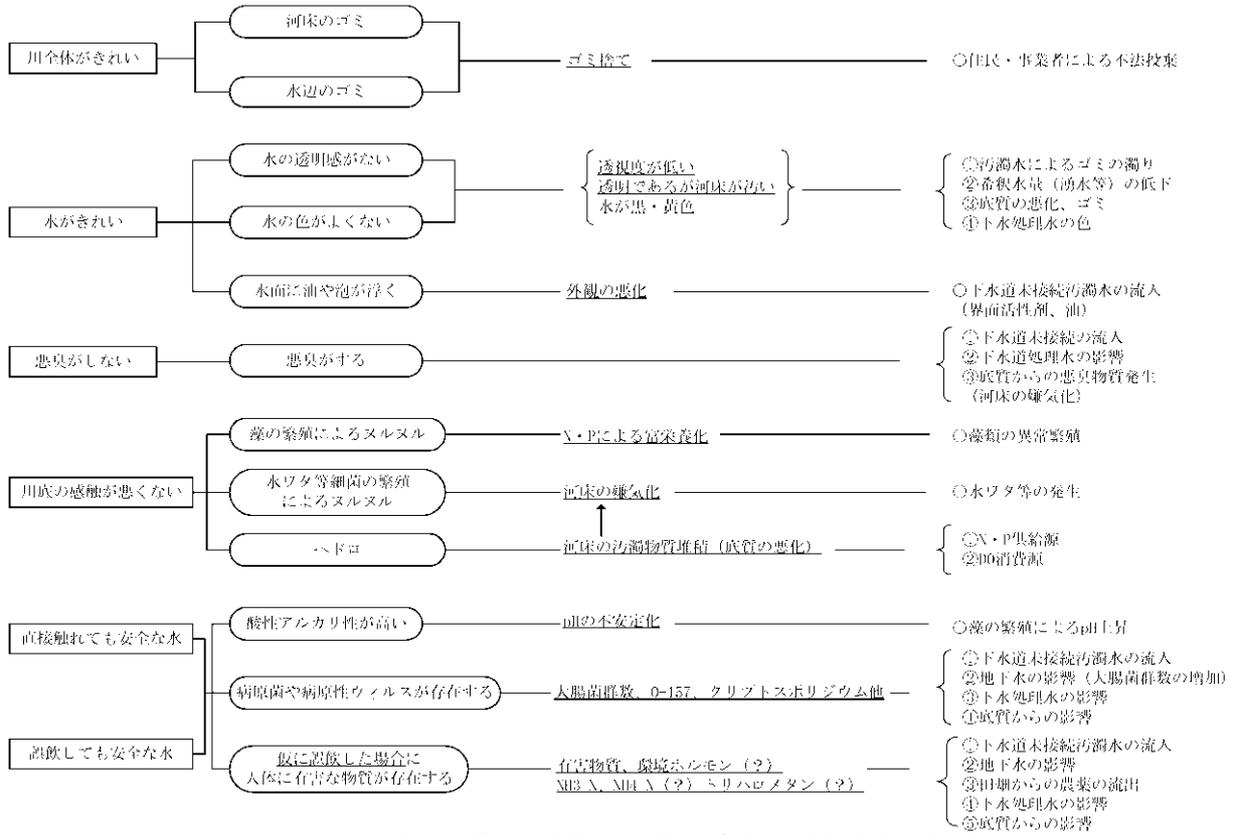


図2・2 親水性と景観に関連する川が満たすべき機能と課題



図2・3 鶴見川流域における主な汚濁要因

3. 「鶴見川水質管理の目安」の設定

3.1 概要

「鶴見川水質管理の目安」の設定に先立ち、鶴見川において望まれる水質環境目標（案）を流域の住民団体へのヒアリング等を踏まえて、以下のように設定した。

鶴見川の水質環境目標（案）	
●ふれあえる水辺，川を実現する水質環境の創出	～子供たちが身近に川とふれあえる鶴見川～
●多様な水生生物の生息・繁殖が可能な水質環境の創出	～アブラハヤ，オイカワ等の生息・繁殖域を拡大し，将来的にはアユ等の繁殖が可能となる水質環境をめざす～

鶴見川水質管理の目安は，“ふれあえる水辺，川”および“多様な水生生物の生息・繁殖”の水質環境目標に対して，具体的な水質目標の目安値を示したものである。

“ふれあえる水辺，川”に関する水質管理の目安値は，主に流域住民による感覚調査結果に基づいて，50%以上の人々が満足する値で設定し，泳ぐ行為については，衛生学的な目安値を考慮している。また“多様な水生生物の生息・繁殖”に関する水質管理の目安は水産用水基準値を適用している。

このように，現段階で得られている調査結果や情報を基に設定したものであるため，目安として鶴見川の水質管理に利用するものであるが，①ある河川で望まれる水質環境目標について，それが現状でどの程度満足できる水質にあるか，改善すべき水質項目は何かを明らかにする。②水質の現状を地域住民に分かりやすく示すことを利用目的としている。

3.2 “ふれあえる水辺，川”に関する鶴見川水質管理の目安の設定

この目安は，“ふれあえる水辺，川”に関する鶴見川の水質管理における目安（項目，水質値）を示すも

のであり，アクセスの容易さ，河川の形態，河床材質，流量等の要素は含まないとした。

目安は，水環境の現状を行動（利用）形態別に設定することとし，行動（利用）形態として，表3・1の4種を定義した。さらに，各行動形態について，「目安1」「目安2」「目安3」の評価ランクを表3・2に示す定義で設定した。

また，水質の評価時期は，各利用形態ごとに利用頻度の高い時期を対象とした（表3・3）。

水質項目の選定にあたっては，水のふれあいの阻害要因となる水質項目の中で，住民または管理者の立場から見た水質管理の目安としての要素（ア～オ）を考慮して表3・4のように水質項目を選定した。

ア）住民にわかりやすい項目であること。

表3・1 行動（利用）形態の定義

河川における行動(利用)形態	定義
川の中で泳ぐ	川の中に入る。顔を水につける。川の水が口の中に入る可能性がある。
川の中で水遊び	川の中に入る。顔を水につけない。川の水が口の中に入らない。
水辺で水遊び	水辺で手をつける。川の水が口の中に入らない。
みる・眺める	川の中に入らない。川の水が口の中に入らない。

表3・2 水質の評価ランクの定義

	水質のふれあい等級 [※]
目安1	50%以上の人々が利用しやすいと感じる水質。または，既住の知見等により設定した約半数の人が許容を示す水質レベル。
目安2	50%以上の人々が我慢すれば利用できると感じる水質。または，既住の知見や鶴見川実態調査結果等を考慮して設定した水質レベル。
目安3	上記以外の水質

※) 泳ぐについては，衛生学的な目安値を考慮しています

表3・3 水質の評価時期

河川における行動（利用）形態	水質の評価時期
川の中で泳ぐ	7月～9月
川の中で水遊び，水辺で水遊び	5月～10月
みる・眺める	通年

- イ) 水質の測定等を通じて、住民の協力が得やすいものであること。
- ウ) 既存データが利用できること。
- エ) 科学性、定量性があること。
- オ) 河川行政・下水道行政等を通じて具体的な施策と関連があること。

“ふれあえる水辺，川”に関する鶴見川水質管理の目安値は、主に現地および郵送アンケートによる感覚調査結果を用いて設定しており、感覚調査は、現地感覚調査と郵送アンケート調査の2種類の調査を実施した。調査は、鶴見川流域内の多様な水質条件をもつ16地点について、のべ1600人あまりの調査データを収集した。感覚調査の概要を表3・5に示す。

水質管理の目安における行動形態に対応するものとして感覚調査では表3・6の質問を実施した。

表3・4 選定した水質項目

川の機能	水質項目
川全体がきれい	ゴミ
水がきれい	透視度
	色度
	油・発泡
悪臭がしない	臭気度
川底の感触が悪くない	C-BOD
	T-N
	T-P
水の安全性	糞便性大腸菌群数
	健康項目*

*人の健康の保護に関する環境基準の項目

表3・5 感覚調査実施概要

	調査日	被験者	被験者数 (のべ人数)	調査方法	調査地点
現地感覚調査	平成14年8月3日 ～8月4日	鶴見川に強い関心をもっているTRネットワーク関係者他	324人	・現地で調査内容の説明を行いつつ、調査票に記入していただく調査。 ・事務局で水質等の現地測定を行う。	鶴見川流域内河川16地点 〔源流の泉は2地点で調査を実施〕
郵送アンケート調査	平成14年8月23日 (発送) ～ 平成14年9月30日 (到着分)	住宅地図を用いて抽出した調査地点の近傍居住者(無作為抽出)	1127人	・対象地点のアンケート票を送付し、記入済の調査票を返送していただく調査(できれば調査地点までご足労いただくことを記載)	

表3・6 感覚調査の水質に係わる質問

水質管理の目安における行動形態	感覚調査の水質に係わる質問
行動形態「泳ぐ」に対する質問	質問2 (8) 川の中に入って顔に水が触れることにどんな感じがしますか？ 1.気にならない 2.我慢を要する 3.耐えられない
行動形態「川の中で水遊び」に対する質問	質問2 (9) 川の中に入って顔以外の部分が水にふれることにどんな感じがしますか？ 1.気にならない 2.我慢を要する 3.耐えられない
行動形態「水辺で水遊び」に対する質問	質問2 (10) 川の中に入らないで手を水にふれることにどんな感じがしますか？ 1.気にならない 2.我慢を要する 3.耐えられない

透視度、色度、C-BOD、T-N、T-P、臭気度に関する水質管理の目安値の設定では、地点毎の水質と水質感覚評価（「気にならない」「我慢を要する」「耐えられない」）の回答者数割合を整理し、水質値と回答者割合の関係について傾向線を求めた。

ここで水質以外の要因が感覚に強く影響していると考えられる地点や、地点の状況によって感覚調査で把握できない地点については、水質管理の目安値の設定検討においては除外した。

なお、C-BOD、T-N、T-Pは川底のぬるぬる感に関わる項目であるため、ある程度長期的な水質が影響するものと考えられることから、平成12年度～平成13年度鶴見川実態調査結果および平成13年度公共用水域水質調査結果の7月～9月（夏場）の水質平均値を用いた（ただし、C-BODが測定されていない地点においては、N-BODとNH₄-Nの関係から推定したC-BOD値を用いた）。

「目安1」「目安2」「目安3」の水質レベルの境界は、過半数（50%以上）の人が許容できるレベルとし、表3・7および図3・1のように設定した。なお、水質範囲が十分に得られず、50%ラインとの接点をもたない場合は、利用されている地点における鶴見川実態調査結果および、既往の基準等で設定するものとした。

今回の調査データの特徴として、鶴見川に強い関心を持っている「TRネットワーク（鶴見川流域で様々な活動を展開している市民ネットワーク：略称TRネット）関係者」の感覚と、郵送アンケートで実施した「一般の流域住民」の感覚を比較した場合、両者の感覚に相違がみられる。そのため、目安値の設定にあたっては「TRネットワーク関係者」と「一般流域住民」の中間にあたる感覚を用いるものとした。具体的な処理としては、TRネットワーク関係者の標本数と一般の流域住民の標本数が1：1となるようにした（図3・2）。

表3・7 水質レベルの境界

水質のふれあい等級	境界値の設定
目安1	50%以上の方が「気にならない」と回答した水質
目安2	50%以上の方が「気にならない」または「我慢を要する」と回答した水質
目安3	上記以外の水質

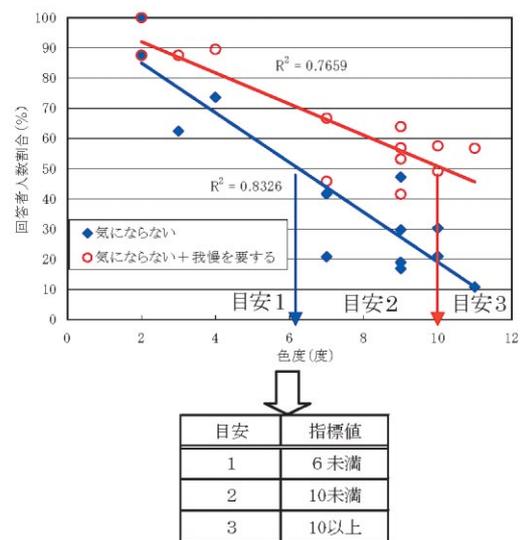


図3・1 行動形態「泳ぐ」の「色度」の目安値設定例

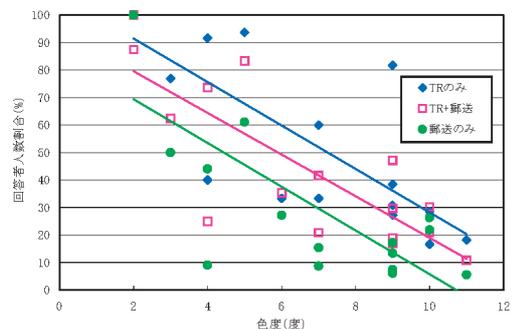


図3・2 TRネットと郵送アンケートの感覚の比較（「泳ぐ」の「色度」について、気にならないレベルの例）

また、ゴミ、油膜・発泡に関する水質管理の目安値の設定方法については、ゴミや油膜・発泡に関する回答（多い～ない）と行動形態別の水質感覚評価の回答（気にならない～耐えられない）のクロス集計結果を回答者人数割合で整理した。

ゴミや油膜・発泡の量が多いほど、「我慢を要する」「耐えられない」と答える人が多い傾向が見られることから、その傾向に合わせて水質管理の目安における

言葉の表現を設定した。「多い～ない」の回答に対して、水質管理の目安の表現を表3・8のように整理し、図3・3のように目安値を設定した。例えば、目安3は耐えられないレベルに相当し、耐えられないレベルは、クロス集計結果の回答から「(ゴミが) 多い」に相当する。「(ゴミが) 多い」場合の水質管理の目安での表現「目につく」を用いて、目安3の目安値を「川の中や水際にゴミが目につき耐えられない」とした。

表3・8 水質管理の目安での表現

回答	水質管理の目安での表現
多い	目につく、認められる
やや多い	
あまりない	あまり見あたらない、あまり認められない
ない	見あたらない、認められない

「川底のゴミ」に関するクロス集計結果

泳ぐ(川の中に入って顔に水が触れる)

	多い	やや多い	あまりない	ない	比率
気にならない	1	10	50	38	100
我慢を要する	25	43	32	0	100
耐えられない	47	44	10	0	100

「水際のゴミ」に関するクロス集計結果

泳ぐ(川の中に入って顔に水が触れる)

	多い	やや多い	あまりない	ない	比率
気にならない	3	12	42	42	100
我慢を要する	23	49	27	1	100
耐えられない	47	42	10	0	100

水質管理の目安の設定

水質のふれあい等級	目安値
目安1	川の中や水際にゴミはあまり見あたらない
目安2	川の中や水際にゴミが目につくが、我慢できる
目安3	川の中や水際にゴミが目につき耐えられない

図3・3 行動形態「泳ぐ」の「ゴミ」に関する水質管理目安の設定例

水の安全性に関わる目安は、誤飲の可能性を前提とした「泳ぐ」行動形態にのみ設定するものとした。糞便性大腸菌群数は「水浴場の水質判定基準」が疫学的な根拠から設定されているため、この基準に準じて設

定した。健康項目は同じく疫学的な根拠から設定されている環境基準に準じた。

以上の方法により設定した“ふれあえる水辺，川”に関する鶴見川水質管理の目安を以下に示す。

“ふれあえる水辺，川”に関する鶴見川水質管理の目安

行動形態：泳ぐ					
(感覚的評価に基づく満足度)					
川の機能	項目	水質のふれあい等級			備考
		目安1	目安2	目安3	
川全体がきれい	ゴミ	川の中や水際にゴミは見あたらな い	川の中や水際に ゴミは目につくが 我慢できる	川の中や水際に ゴミが目につき耐 えられない	・感覚調査結果に基づき設定
水がきれい	透視度(cm)	130以上 (川底が見えること)	80以上 (川底が見えること)	80未満 (川底が見えること)	・感覚調査結果に基づき設定 ・水浴場の水質判定基準
	色度(度)	6未満	10未満	10以上	・感覚調査結果に基づき設定
	油、発泡	油膜、発泡が認め られない	油膜、発泡が認め られるが我慢で きる	油膜・発泡が認め られ耐えられない	
悪臭が しない	臭気度	2未満	2.5未満	2.5以上	
川底の 感触が 悪くない	C-BOD(mg/l)	2未満	4未満	4以上	・感覚調査結果に基づき設定 ※川底の感触(ぬるぬる感)を 作り上げている諸要素のうちの 1つとして左記の水質項目を挙 げている。従って目安値の適 用の際は、対象地点における 水質項目と川底の感触との関 連性を確認する必要がある。
	T-N(mg/l)	6未満	9未満	9以上	
	T-P(mg/l)	0.3未満	0.6未満	0.6以上	
(誤飲した場合に問題とならない水質の目安)					
川の機能	項目	水質のふれあい等級			備考
		目安1	目安2	目安3	
水の 安全性	糞便性 大腸菌群数 (個/100ml)	100 未満	100～1000	1000以上	・水浴場の水質判定基準より値を設定
	健康項目	環境基準以下		環境基準を超えるもの	・人の疫学的調査結果より環境基準が定められている

※水質のふれあい等級は水とのふれあいやすさを示すものであり、安全性を保障するものではない。

行動形態：川の中で水遊び

(感覚的評価に基づく満足度)

川の機能	項目	水質のふれあい等級			備考	
		目安1	目安2	目安3		
川全体がきれい	ゴミ	川の中や水際にゴミはあまり見えない	川の中や水際にゴミが目につき我慢できる	川の中や水際にゴミが目につき耐えられない	・感覚調査結果に基づき設定	
水がきれい	透視度(cm)	80以上 (川底が見えること)	40以上 (川底が見えること)	40未満 (川底が見えること)	・感覚調査結果に基づき設定 ・「泳ぐ」と「水辺で水遊び」の間の値	
	色度(度)	10未満	20未満	20以上		
	油、発泡	油膜、発泡が認められない	油膜、発泡が認められるが我慢できる	油膜、発泡が認められ耐えられない	・感覚調査結果に基づき設定	
悪臭がしない	臭気度	2.5未満	3.5未満	3.5以上	・感覚調査結果に基づき設定 ・鶴見川実態調査結果の水遊びが行なわれている地点の最大値	
川底の感触が悪くない	C-BOD(mg/l)	3未満	5未満	5以上	・感覚調査結果に基づき設定 ・水質管理に関する研究(視水活動と水質の関係) ・鶴見川実態調査結果の水遊びが行なわれている地点の最大値	※川底の感触(ぬるぬる感)を作り上げている諸要素のうちの一つとして左記の水質項目を挙げています。従って目安値の適用の際は、対象地点における水質項目と川底の感触との関連性を確認する必要があります。
	T-N(mg/l)	9未満	12未満	12以上	・感覚調査結果に基づき設定	
	T-P(mg/l)	0.6未満	0.9未満	0.9以上	・鶴見川実態調査結果の水遊びが行なわれている地点の最大値	

※川の水が口の中に入る行為は「泳ぐ」の目安を適用する。

※水質のふれあい等級は水とのふれあいやすさを示すものであり、安全性を保証するものではない。

行動形態：水辺で水遊び

(感覚的評価に基づく満足度)

川の機能	項目	水質のふれあい等級			備考
		目安1	目安2	目安3	
川全体がきれい	ゴミ	川の中や水際にゴミはあまり見えない	川の中や水際にゴミが目につき我慢できる	川の中や水際にゴミが目につき耐えられない	・感覚調査結果に基づき設定
水がきれい	透視度(cm)	40以上 (川底が見えること)	20以上 (川底が見えること)	20未満 (川底が見えること)	・感覚調査結果に基づき設定 ・鶴見川実態調査結果の水遊びが行なわれている地点の最低値
	色度(度)	40未満	100未満	100以上	・下水道処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル(案)に記載されている感覚実験結果 ・鶴見川実態調査結果の水遊びが行なわれている地点の最大値
	油、発泡	油膜、発泡が認められない	油膜、発泡が認められるが我慢できる	油膜、発泡が認められ耐えられない	・感覚調査結果に基づき設定
悪臭がしない	臭気度	不快な臭いを感じないこと	我慢できないほどの不快な臭いを感じないこと	我慢できないほどの不快な臭いを感じる	・水中の悪臭物質と蒸散した悪臭物質の関係が不明確

※水質のふれあい等級は水とのふれあいやすさを示すものであり、安全性を保証するものではない。

行動形態：見る・眺める

(感覚的評価に基づく満足度)

川の機能	項目	水質のふれあい等級			備考
		目安1	目安2	目安3	
川全体がきれい	ゴミ	川の中や水際にゴミが目につき気がならない	川の中や水際にゴミが目につき我慢を要する		・感覚調査結果に基づき設定
水がきれい	透視度(cm)	20以上 (川底が見えること)	20未満 (川底が見えること)		・水質管理に関する研究より、透視度10~20cmでは約5割が不満と感じない。
	色度(度)	外観が不快でないこと	外観が不快であるが我慢できる		・既往の知見および感覚調査設定が困難
	油、発泡	油膜、発泡が認められるが気にならない	油膜、発泡が認められるが我慢できる		・感覚調査結果に基づき設定
悪臭がしない	臭気度	不快な臭いを感じないこと	我慢できないほどの不快な臭いを感じないこと		・水中の悪臭物質と蒸散した悪臭物質の関係が不明確

※水質のふれあい等級は水とのふれあいやすさを示すものであり、安全性を保証するものではない。

3.3 “多様な水生生物の生息・繁殖”に関する鶴見川水質管理の目安

水生生物の生息・繁殖について、検討を行う場合は、生息についてはすみか、休息場所、退避場となる瀬、淵、水際部、植生等が必要であり、繁殖については産卵する場所（砂、礫、植生）等の河川構造が関係するものと考えられるが、ここでは水質環境についてのみ検討を行うこととした。

“多様な水生生物の生息・繁殖”に関わる鶴見川水質管理の目安値は、「水産用水基準」および鶴見川流域における「実態調査結果」を用いて、以下に示す位置付けで設定した。

■水産用水基準値に基づき水質管理の目安値を設定する

水産用水基準³⁾は、魚と水質の関係について既往の知見を出来る限り把握した上でまとめられており、昭和40年より数回の改訂を繰り返した実績のある基準であることから、この水産用水基準における設定値を水質管理の目安値とした。また、実態調査（平成12年11月～平成13年9月間（月1回）において鶴見川でアユ等の生息・繁殖が確認されている地点で実施した水質調査）による参考値を水質管理指標の目安値と併記し、補足的な情報とした。

■繁殖の参考値を参考として記述する

既往の知見では、現段階で生息と繁殖の条件を分けて提示することは難しいが、①生息よりも繁殖条件は厳しいことを提示する、②繁殖における水質条件に関する今後の研究を促す目的で、これまであげている水質項目について、実態調査による平均水質及び範囲を参考的に“鶴見川における繁殖の水質範囲の参考値”として示した。

水産用水基準値および実態調査結果に基づいて設定した“多様な水生生物の生息・繁殖”に関する水質管理の目安を表3・9に示す。

3.4 鶴見川水質管理の目安の課題点

今回の目安に基づいて水質管理目標を設定する際は、下記の点に留意すべきである。

(1) 目安値設定の課題

(ア) “ふれあえる水辺・川”に関する水質管理の目安の課題点

①川底の感触に係わる項目について

- ・C-BODについては、推定値（NH₄-NとN-BODの関係を用いた）を用いて水質管理の目安を設定している点が課題として残る。
- ・川底の感触は、河床構成材料、日照、水深等の物理的要因が影響することに留意する必要がある。また、有機物や藻類の付着量と、C-BOD、T-N、T-Pとの直接的な関係が明らかでないことから、データの蓄積を行い、関連性を明確にすることが課題となる。

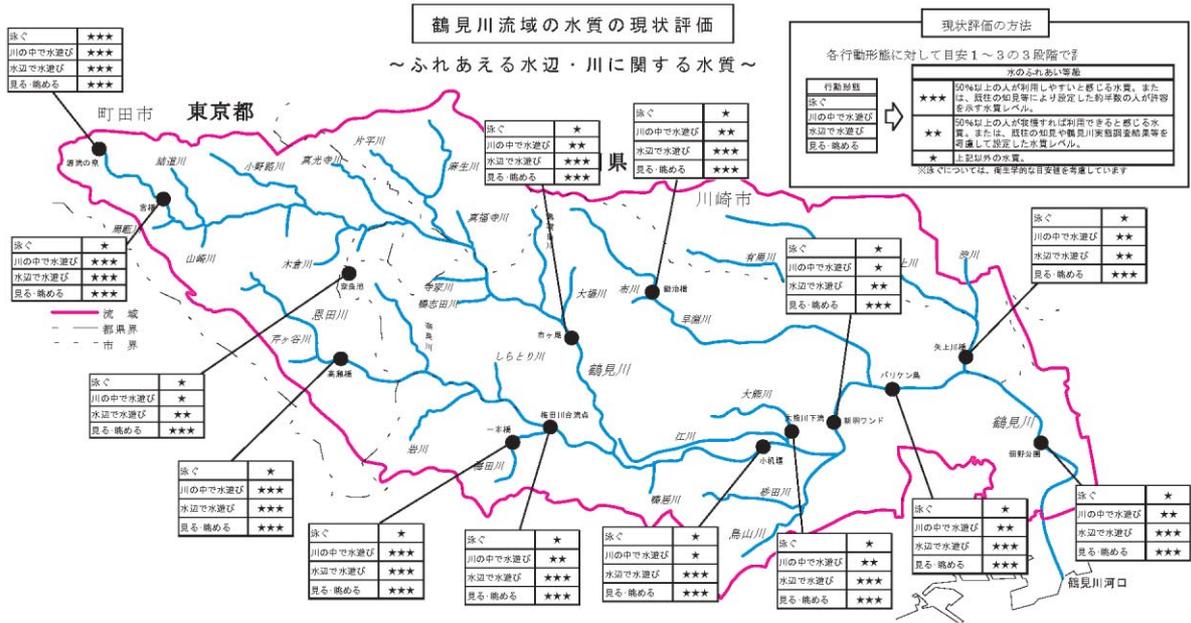
②水質管理の目安値の設定について

- ・今回の感覚調査地点の水質は多くの人に許容が示される範囲であった。そのため、目安2のレベルを感覚調査結果を用いて設定することが困難であった。もう少し汚濁した地点を含めた感覚の把握が課題として挙げられる。
- ・今回の感覚調査結果では、少なからず場の状況が人の感覚に影響しているものと考えられる結果が見られた。水深等の物理的要因に関する感覚を除いた水質のみに対する感覚の把握が困難であり、その調査方法を含めて課題として残る。

(イ) “多様な水生生物の生息・繁殖”に関する水質管理の目安の課題点（対象魚種や生息と繁殖の区別について）

- ・生物の生息・繁殖に与える水質の影響は、対象魚種、生息・繁殖によって違いがあるものと考えられることから、これらを区別した形で鶴見川水質管理の目安の検討を進めてきた。ただし、既往の知見ではこ

(例-1 ふれあい)



(例-2 生物)

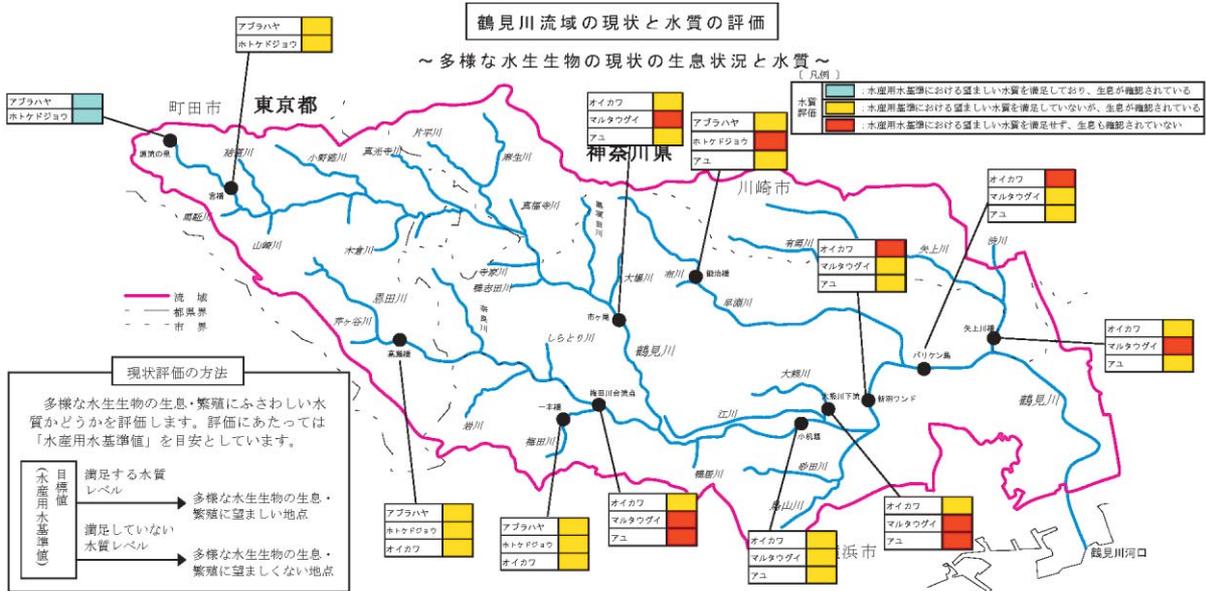


図3・4 鶴見川水質管理の目安による水質評価 (情報公開のイメージ)

4. 効果的な水質環境保全対策検討

4.1 検討概要

鶴見川流域の市街地では、ほぼ下水道整備済区域となっており、下水処理場からの流入負荷量が多くを占め、また、都市型の新たな問題として市街地からのノンポイント汚濁負荷の問題も挙げられる。上流域等の下水道未整備地域の多い流域においては、依然として生活系、事業所系由来の流入負荷量が多くを占めている。

一方、鶴見川では支川・水路での流量の低下が見られ、川とのふれあいや、多様な水生生物の生息・繁殖に関して、重要な課題となっている。このような課題に対して大きく3つの対策（汚濁負荷削減対策、水量の保持・回復のための対策、水の有効利用のための対策）が考えられ、鶴見川の水質環境の保全のためには、これらの対策を総合的に取り組んでいくことが必要となる（図4・1）。

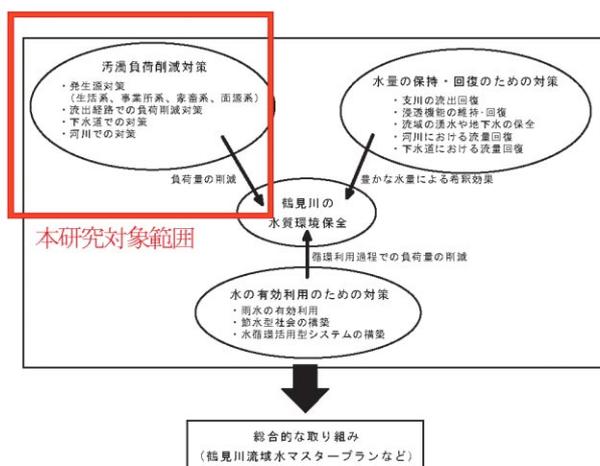


図4・1 鶴見川の水質環境保全対策の概要

本研究では、上記3つの鶴見川水質環境保全対策の中で、汚濁負荷削減対策を対象に検討を進めるものとし、特徴的な汚濁源をもつ小流域をモデル流域（表4・1）として、「鶴見川水質管理の目安」に基づいた目標値を定め、ケーススタディにより、汚濁源に対す

る効果的な汚濁負荷削減対策の検討を行った。

ケーススタディでは、対策メニューによる水質改善効果と目標達成状況、概算費用について概略的な比較を行った。

まず水質管理の目安を用いて現況水質を評価し、設定した目標を阻害する水質項目を抽出する。水質環境保全対策の検討はこの水質項目に対して効果があると考えられる対策をすべて取り上げた。個別で対策を実施した場合の効果は、発生源対策、下水道での対策、流出経路での対策、河川での対策の順に示し、対策を実施することでどの程度水質改善されるかを試算した。試算では、各対策に対して、除去率を設定し、除去率は一定との仮定のもと効果を試算している。各対策の除去率の設定値を表4・2に示す。また、組合せ対策の効果として、下水道整備・接続や、台所対策など他の対策を組合せた場合の試算を行い、組合せることによって効果が見込めるものを取り上げるものとした。なお、発生源対策どうし等、同じ場所での対策の組合せは効果が不明瞭であるため、行わないものとした。

水質改善の効果は棒グラフで示し目標達成ラインとの比較を行なうものとした。また、効果はあるが定量的効果が不明な対策は、定量的効果不明と表示した。対策の規模は、最大規模（100%規模）で対策を実施した場合と、半分の規模（50%規模）で対策を実施した場合の2種類で試算を行っている。規模は、浄化槽の合併処理化や下水道整備接続等の人口に関するもの

表4・1 モデル流域の概要

モデル流域 (最下流地点)	流域の概要	流域 面積 (km ²)	流域内 人口 (人)	下水道人口 普及率※ (%)
上流域 (岡上橋)	下水道未整備地域の多い流域	24.5	83,867	49.7
中流域 (亀甲橋)	下水処理水の流入が多い流域	130.5	778,280	89.4
恩田川流域 (都橋;横浜市)	下水道がほぼ整備済で処理水が放流される流域	29.3	185,312	97.7
鳥山川流域 (又口橋)	市街地でありながら下水道が十分に整備されていない流域	8.4	47,682	66.6
麻生川流域 (耕地橋)	高度処理水が放流されている流域	10.0	49,357	94.3

※) 下水道人口普及率 = モデル流域内下水道整備人口 / モデル流域内総人口

は対象人口に対する規模とし、下水の高度処理や河川浄化施設等の処理水量に関するものは水量に対する規模とした。

費用についても、最大規模（100%規模）で対策を実施した場合と、半分の規模（50%規模）で対策を実施した場合の2種類で試算を行った。

その他、水質改善効果および費用以外に確実性に関

する項目として、住民主体の観点から住民が自発的に実施する対策か、制度面のサポートが必要な対策かを区分し、また行政主体の観点から既存の制度の中での実施が可能か、新たな制度を設ける必要がある対策かどうかを区分した。さらに各対策の即応性についても評価した（表4・3）。

また、ケーススタディの実施例を図4・2に示す。

表4・2 対策の除去率の設定値

施設名	除去率 (%)								削減水量 (NH ₄ -N (mg/L))		
	BOD	C BOD	窒素性大腸菌 除去	NH ₄ -N	TN	TP	色度	SS			
発生源対策	設置 施設 施設 施設	単独浄化槽の合併化	75	(0)	23	18	27	(0)	62	-	
		簡易深層槽による固形物の浮脱除去	25	(0)	(0)	-	-	(0)	23	-	
		生活雑排水専用の集約処理施設の設置	92	(0)	(0)	30	16	(0)	94	-	
	官所 対策	台所用ろ紙の廻用（啓発活動）	7	(0)	(0)	22	4	(0)	52	-	
		台所での拭き取り対策（啓発活動）	28	(0)	(0)	30	20	(0)	34	-	
		台所対策（拭き取り・ろ紙）	33	(0)	(0)	45	23	(0)	68	-	
下水道対策	下水道整備・接続	単独・合併浄化槽、くみ取りの下水道水洗化								下水道で見込む	
	下水道放流水質の改善 (二次処理水に対する効果；高度処理施設の稼働)	活性炭吸着法	42					60	50		
		オゾン処理	-					70			
		嫌気無酸素好気法	40	-	100	41	69	(0)	25	-	
		担体利用・嫌気無酸素好気法	32	-	100	28	74	(0)	0	-	
硝化促進型運転	処理場毎にNH ₄ -N処理水量1500 Lまで処理すると仮定										
流出経路対策 河川直接浄化対策	環境保全型ハイブリッド水質浄化システム ■1 水質浄化システム ■1 自然循環方式水質浄化システム ■1 硝化後脱硝化 曝気あり ■2 硝化後脱硝化 曝気なし ■2 プラスチック 曝気あり ■2 プラスチック 曝気なし ■2	環境保全型ハイブリッド水質浄化システム ■1	83	86	68	98	3	11	7	94	
		水質浄化システム ■1	81	54	89 ¹⁾ (100)	98	4	6	5	79	-
		自然循環方式水質浄化システム ■1	81	18	83	90	4	8	9	92	-
		硝化後脱硝化 曝気あり ■2	80	80	99	70 ²⁾	17	28	3 ³⁾	86	
		硝化後脱硝化 曝気なし ■2	58	69	81	-	5	20	3 ³⁾	62	0.4 ⁴⁾
		プラスチック 曝気あり ■2	67	37	92		3	0	— ⁴⁾	0	
		プラスチック 曝気なし ■2	39	37	66	0	17	21	— ⁴⁾	53	

※ (0) は定量的効果が明確でないが、原理等から判断して、ほとんど除去されないものと考えられることから、除去率0として扱った。一は、定量的効果が不明として扱った。
 ※下水道高度処理の除去率は、二次処理水に対する除去率とした。
 ※活性炭、オゾン処理の色度は、「下水道修繕・親水利用マニュアル(案)」を参考に処理水質の平均値と、処理場の放流水平均値20度(推定値)を参考に設定した。
 ※嫌気・無酸素好気法のBOD除去率は都下水処理場の水質目標設定、NH₄-Nは担体利用・嫌気無酸素好気法と同等の除去率とした。
 ※担体利用・嫌気無酸素好気法の除去率は、原生水処理センターの水質調査結果より設定

■1 鶴見川水質浄化実験(H13.9~H14.8)のデータによる(文献4)参照
 ■2 居住の河川浄化技術の除去率設定にあたっては、NH₄-Nや大腸菌群数の調査事例がほとんどないことから、代表施設を各々1施設選定し、実施した調査(H14.10月~H15.2月3回調査)の結果を利用した。今後、より客観的な数値を得るために、更なるデータの蓄積が望まれている。

表の設定値は鶴見川の実験での流入水質範囲に相当する調査結果の平均値を用いるものとした。ただし、この範囲に相当する水質調査結果が得られなかった場合には、3区調査の平均値を用いるものとした。鶴見川の流入水質範囲は以下に示すとおり。

- ・BOD 2.3~23.9 mg/L
- ・C BOD 0.7~5.9 mg/L
- ・糞便性 900~12000 個/100ml
- ・NH₄-N 0.75~7.79 mg/L
- ・TN 6.23~19.70 mg/L
- ・TP 0.34~1.19 mg/L
- ・SS 4.4~33.3mg/L

- 1) () 書きは、安定して機能している期間(第1~13回調査)の平均値
- 2) 代表施設の調査結果では除去率が98%であったが、滞留時間が計画値より長くとられており一般的でないため、ここでは一般的な滞留時間をもつ他施設(硝化施設)のNH₄-N年度平均値を用いるものとした
- 3) 懸濁物質の除去と高度除去の影響が不明確な部分があるため、本検討では設定しないものとした
- 4) 流入水質レベルが低く除去率が92%となり、処理システムを調査すると過大評価となる。そのため、削減水質を用いて評価するものとした

表4・3 各対策の即応性・確実性評価とその考え方

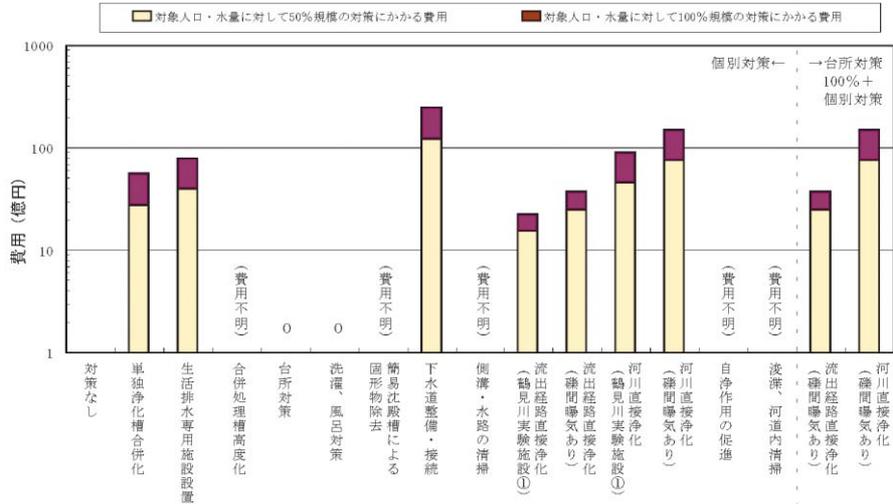
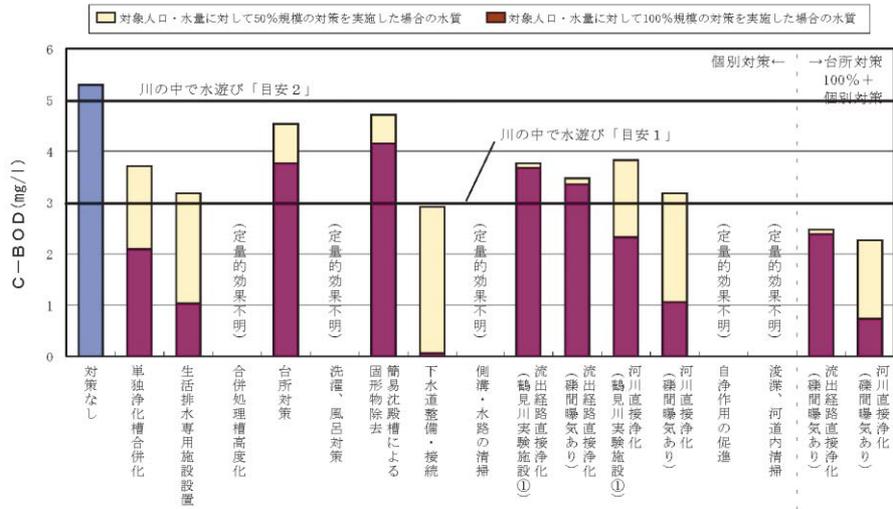
対策名		確実性に関する項目				即応性	評価の考え方	
		住民主体		行政主体				
		自発的実施	制度下のサ	既存の制度	新たな制度			
発生源対策	生活系	個別・共同処理施設の設置		○	○	○	設置工事にある程度の時間を要する。維持管理の徹底具合により処理効率が落ちる可能性がある。	
		合併処理浄化槽の高度化		○		○		
		家屋での対策（啓発・普及活動）	○					◎ 直ちに対応することが可能であるが、啓発活動の徹底具合に影響され、また、住民の意識に左右されるため、効果を維持することが難しい。
	工場・事業所	汚所対策（ろ紙の使用、ふき取り）	○				◎	
		洗濯、風呂対策	○				◎	
		簡易洗槽槽による河形物の洗脱除去		○		○	○	設置工事にある程度の時間を要する。維持管理の徹底具合により処理効率が落ちる可能性がある。
	面源負荷対策	排水規制の強化				○	△	規制を変更するために、条例等の変更後に対応期間を設ける必要があるため、長期間を要する。指導・検査が徹底されなければ、改善されない可能性がある。
		排水処理システムの整備・改善			○		○	工場内に排水処理システムを建設するため、ある程度の期間を要する。確実性は処理システムの種類にも係わるが、事業所の維持管理の徹底具合に左右される。
		市街地における清掃、ゴミ拾い	○		○		◎	直ちに対応することが可能であるが、啓発活動の徹底具合に影響され、また、清掃の徹底具合に左右されるため、効果が不明確である。
	面源負荷対策	農地の施肥・農薬の適正化、管理	○				◎	肥料の種類や施肥方法の変更等であるため、即時に対応できる。ただし、農地の管理者の意識に左右されるため、効果が現れない可能性がある。
山林の施肥・伐採管理		○				◎	肥料の種類や伐採方法の変更等であるため、即時に対応できる。ただし、山林の管理者の意識に左右されるため、効果が現れない可能性がある。	
下水道整備・接続				○	○	△	面的に管路を整備するため、目的とする整備地域までの建設に長期間を要する。ただし、汚水を集めて処理するため、発生直での負荷流出はなく、比較的徹底した維持管理がなされるため、確実性に優れている。	
下水道での対策	下水道接続				○	○	公共事への下水道を接続するため、接続工事にある程度の時間を要する。確実性は上記と同じ理由で優れている。	
	高度処理施設の整備					○	高度処理施設の建設にある程度の期間を要する。下水処理場では徹底した維持管理がなされることから、期待する効果が確実に現れる。	
	硝化脱窒型運動の実施					○	下水処理施設に余裕がある場合には維持管理方法を変更することで対応できる。ただし、密着実施するためには、施設の拡充が必要となり時間を要する。下水処理場では比較的徹底した管理が行われるため、確実性が高い。	
	合流改善対策	雨水時留管、雨水貯水地				○	△	雨水を対象とするため、大規模なものとなり、施設の建設に長期間を要する。一定量の流入水は下水処理場で処理されるため、効果は確実に期待できる。
		雨水吐口へのスクリーン設置					○	スクリーンの設置工事にある程度の時間を要する。スクリーンのゴミ等の維持管理の徹底具合や、ゴミの種類によって効果が左右される。
	管内堆積物の清掃管理				○	◎	直ちに対応できるが、ある期間において繰り返し実施する必要がある。管理の頻度・徹底具合に左右される。	
河川での対策	側溝・水路の護岸、清掃	○			○	◎	直ちに対応できるが、ある期間において繰り返し実施する必要がある。頻度や徹底具合に大きく左右される。	
	河川直接浄化施設					○	施設の設置にある程度の期間を要するが比較的短期間での対応が可能である。維持管理の徹底具合により処理効率が落ちる可能性がある。	
	沈砂池の設置による懸濁物質の除去					○	河川の掘削工事等にある程度の期間を要するが、比較的短期間で対応できる。排砂作業等の徹底具合に効果が左右される。	
	防災調節池を利用した浄化対策					○	浄化施設の設置にある程度の期間を要するが、比較的短期間での対応が可能である。維持管理の徹底具合により処理効率が落ちる可能性がある。	
河川での対策	河川直接浄化施設					○	施設の設置にある程度の期間を要するが比較的短期間での対応が可能である。維持管理の徹底具合により処理効率が落ちる可能性がある。	
	自然作用を促す河川構造の確保					○	多自然工法等の採用により、河川工事にある程度の期間を要する。比較的、低濃度の水を対象とした対策であるため、流入水質により浄化効果が左右される。	
	護岸、河道内清掃	○				◎	直ちに対応できるが、ある期間において繰り返し実施する必要がある。頻度や徹底具合に大きく左右される。	

◎ 市民・住民が主体的に実施する対策が、「制度下のサポート」が必要となる対策かどうかを判断した。
 ○ 行政主体（「制度下のサポート」）での実施が可能で、「新たな制度」を設ける必要のある対策が左右される。
 △ 判断が不明

技術的に見て、直ちに実施できるかどうかを評価し、段階で評価した。
 1. 事業を先行に移す必要のある介入を定性的に評価したため、計画・設計に要する期間を除いて評価した。

- ◎ 直ちに実施できる（即時対応）
- 中程度の即応性がある（概ね2年未満）
- △ 対応までに長期間を要する（概ね2年以上）

100%規模 本川 0.899m³/s、 流出経路 0.220m³/s



実施性に関する項目	住民主体		行政主体																
	自発的実施	制度面のサポート	既存の制度	新たな制度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
即応性	○	○	○	◎	◎	○	△	◎	○	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○
費用	50%	○	○	-	-	◎	-	△	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○
	100%	○	○	-	-	◎	-	△	-	○	○	○	△	-	-	○	○	△	○
目標達成	目安2	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	目安1	○	○					○										○	○

○住民主体…住民が「自発的に実施」する対策か、「制度面のサポート」が必要となる対策かどうかを区別した。
 ○行政主体…「既存の制度」の中での実施が可能か、「新たな制度」を設ける必要がある対策かどうかを区別した。
 ◎即応性…
 技術的に見て、直ちに対応できるかどうかを定性的に3段階で評価した。工事等を実行に移した後に要する期間を定性的に評価したもので、計画・設計に要する期間を除いて評価した。
 ◎：直ちに対応できる(即時対応)、○：中程度の即応性がある(概ね2年未満)、△：対応までに長期間を要する(概ね2年以上)
 ○費用…建設費と10年あたりの維持管理費を見込む
 ◎：10億円未満、○：10～100億円、△：100億円以上

図4・2 ケーススタディの実施例

図4・2は、上流域ブロックを対象に、「川の中で水遊び」の「目安1」「目安2」レベル達成のための水質環境保全対策検討例を示したものである。

上の棒グラフは、目標の阻害要因であるC-BODの現在の値（対策なし）および各種対策を実施した場合の試算値を上流ブロックの最下流地点である岡上橋において、示している。また、その下の棒グラフは、各種対策の概算費用を片対数表示で示している。

図4・2に示すように、「下水道整備・接続」は、負荷削減の確実性に優れており、しかも流域全体の水質改善に寄与できる。生活排水は下水道に接続すると上流域の外の処理場まで運ばれた後、河川に放流されるため、100%整備された場合は、最下流地点では試算上C-BODはほとんど0となる。しかし、現実には上流域は人口密度が下流域に比べ低く、下水道が整備しにくい立地条件にあることから、整備等に長時間を要しコストが高い。また、接続にあたっては制度面のサポートが必要となる。

「河川直接浄化対策」は維持管理の徹底具合等により、その処理効率が左右される。さらに下水道整備・接続よりは安価であるものの、本川を対象とするため施設規模が大きくなり、多くの費用を要する。

「単独浄化槽の合併化」「生活雑排水専用の個別処理施設の設置」の発生源対策は、住民が主体となって設置する必要があるため、補助金等のサポートが必要となる。発生源での対策であるため、流域全体の水質改善に寄与でき、コスト的には「単独浄化槽の合併化」が比較的安価である。

図4・2から総合的に判断すると、台所対策はコストがほとんどかからないため、「台所対策」を前提とし、「流出経路での直接浄化対策」を組合せて実施することで、安いコストでの目標達成が可能である。ただし、台所対策は住民が自発的に実施する必要があるため確実性の面では劣る。

そのほか、今回の試算では定量的な評価を試みる事ができなかった合併浄化槽の高度化、洗濯・風呂対策、簡易沈殿槽による固形物除去、側溝・水路の清掃、

浄化作業を促す河川構造の確保、浚渫・河道内清掃等も実施することで改善効果は見込めると判断し、対策の項目として加えている。

4.2 効果的な負荷削減対策

a) 平常時における汚濁負荷削減対策

ケーススタディの検討結果を整理し、“ふれあえる水辺・川”“多様な水生生物の生息・繁殖”の目標達成にあたって、平常時における効果的な汚濁負荷削減対策を以下にとりまとめた。

●下水道未整備地域の多い流域

上流域のような下水道未整備地域の多い流域では「台所対策等の家庭での対策」が効果的であり、「水遊びの目安2」レベルまでの水質改善が可能である。さらに加えて「流出経路での直接浄化対策」を実施することで、「水遊びの目安1」レベルまで改善が可能となる。また、「河川直接浄化対策」を実施することでさらに高い効果が見込まれるが、膨大な費用と時間がかかることを考慮すると、現実的な対策として当面は河川直接浄化施設を用いた「拠点整備」等を行うことが考えられる。



図4・3 「下水道未整備地域の多い流域」における主な負荷削減対策メニュー

●下水処理水の流入が多い流域

中流域に位置する亀甲橋地点のような下水処理水の流入が多い流域では、ふれあいの観点からは色が課題となり、生物の生息・繁殖の観点からは高濃度のNH4-

Nが課題となる。そのため、これらの課題項目に対しては「高度処理施設の整備」や「河川直接浄化対策」が効果的である。ただし、亀甲橋地点での下水処理水量や河川流量が非常に多いことから、対策規模が大きくなり水質改善は容易ではない。そのため、現実的な当面の対策としては、これらの対策の進捗と併せて河川直接浄化施設を用いた「拠点整備」を行うことが考えられる。

また、亀甲橋地点は中流部に位置するため、上流部からの影響が避けられないことから、上流部における対策も併せて実施する必要がある。

●下水道がほぼ整備済で処理水が放流される流域

恩田川流域のような下水道がほぼ整備済みで、処理水が放流される流域においては汚濁源のほとんどを下水処理水が占めている。そのため、水質改善対策として下水処理水を対象とした対策を実施することが効果的である。中でも「オゾン処理」や「担体利用・嫌気無酸素好気法」による「高度処理」や「下水処理水を対象とした浄化施設の設置」を行うことが効果的で、これらを併せて実施すれば「川の中の水遊びの目安1」レベルの水質改善が可能である。

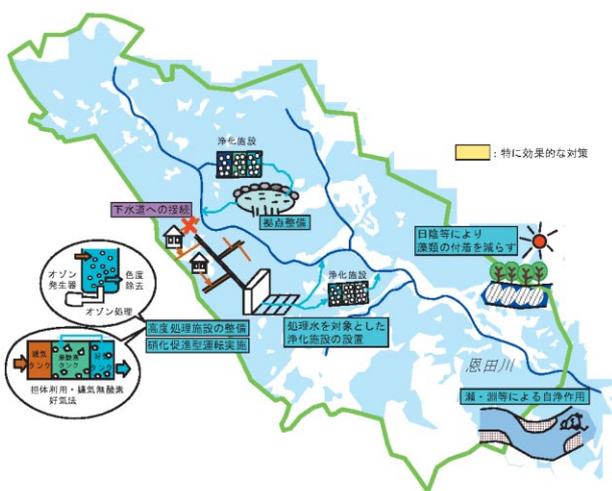


図4・4 「下水道がほぼ整備済で、処理水が放流される流域」における主な負荷削減対策メニュー

●市街地でありながら下水道が十分に整備されていない流域

鳥山川流域のような市街地でありながら下水道が十分に整備されていない流域においては、生活排水や工場排水を対象とした対策を実施することが効果的である。特に「下水道整備・接続」および「下水道への工場排水の取り込み」が効果的であり、これらを実施した場合には「川の中で水遊びの目安1」レベルまでの水質改善が可能である。

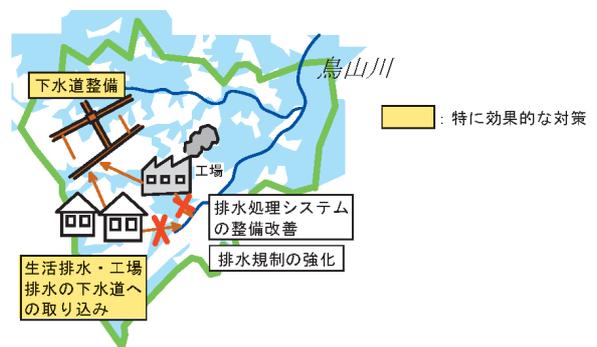


図4・5 「市街地でありながら下水道が十分に整備されていない流域」における主な負荷削減対策メニュー

●高度処理水が放流されている麻生川流域

下水処理場からの高度処理水が放流されている麻生川流域においては、処理水の色濁がふれあいの観点から課題となる。対策としては「オゾン処理法」を用いた「高度処理対策」を行うことが最も効果的であり、対策を実施することで「川の中で水遊びの目安1」レベルまでの水質改善が可能である。

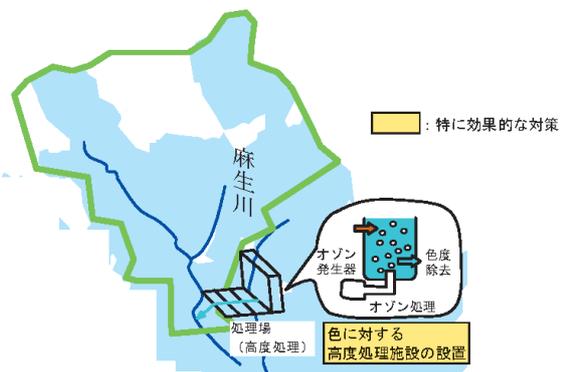


図4・6 「高度処理水が放流されている麻生川流域」における主な負荷削減対策メニュー

b) 降雨時における汚濁負荷削減対策

降雨時に見られる汚濁負荷の流出が、どの程度河川の水質環境へ影響を与えているのか明らかではないことから、降雨時に見られる現象として、主にゴミに対する水質環境保全対策の検討を行った。ゴミに対する対策としては、まず、発生を抑制することが基本となり、それが川へ流されるゴミの減少につながる。また、制御しきれないゴミに対しては、河川への流出を防ぐことになる。

ゴミの発生抑制のための対策としては、

- ・立て看板の設置
- ・ゴミの投棄に対する啓発活動

等が挙げられ、また河川への流出を抑制するための対策としては、

- ・家庭、町内での管理、清掃
- ・水路・側溝へのスクリーンの設置
- ・合流式下水道吐口へのスクリーン設置

等が対策として挙げられる。

c) 東京湾の水質保全に関わる水質環境保全対策（汚濁負荷削減対策）

将来的な汚濁要因として、下水処理場からの負荷、面源負荷、合流式下水道越流負荷等があげられているが、このような汚濁源に対する対策として、「下水道において高度処理水質レベルをさらに低下させる」ことと合わせて、降雨時の面源負荷対策として、「防災調節池等を利用した浄化対策」を実施することが効果的である。

4.3 留意事項

(1) 水質環境保全計画を策定するにあたっての水質・流量について

水質・流量は、水質環境保全対策を検討する上での出発点となり、対策の評価にも影響することから、十分な根拠に基づいて対策の対象となる水質・流量を設定する必要がある。そのため、実際には季節的に変動する流況や水質を、対策の目的や対象とする時期を考

慮して評価していくことが重要である。

従って、親水活動や生物の生息・繁殖環境に関するより具体的な水質環境保全計画（アクションプラン）を策定する場合には、表4・4に示すような調査データに基づいて検討することが考えられる。

また、調査データが不十分であった場合には、再度調査を実施しなければならない。

(2) 検討する水質項目について

“ふれあえる水辺・川”“多様な水生生物の生息・繁殖”に関する環境は水質以外の分野も関連してくる。例えば、水質のコントロールの他に、川の植生による対策や、流速を上げる方法による堆積物の減少など他の方法と組合せることによって目標が達成される場合もある。

そのため、目標とする水質レベルにわずかに達しない場合には、他の方法と組合せることによって目標が達成される場合もあることを視野に入れて水質改善対策の検討を行う必要がある。

(3) 対策を講じることによって生じる課題について

負荷削減などの対策を講じることによって、対象水質項目が改善される一方、他の水質項目の悪化などの問題が生じる可能性がある。そのため、水質環境保全プランの検討にあたっては、対象水質項目の改善以外に、対策に伴って生じる問題を含めて、検討を行う必要がある。

例えば、対策に伴って生じる問題として以下のようなことがあり得る。

対策に伴う問題としてあり得ること

- ・河川直接浄化施設の設置による放流水のDO減少や、景観の悪化、周辺への臭いの発生、汚泥の発生など
- ・下水道の整備・接続の進捗に伴う小支川・水路の水量の減少や、塩素消毒に伴う残留塩素の増加、T-N、T-Pの増加（藻類の付着量が増加）、冬場のBOD（N-BODを含む）の上昇など

表4・4 水質環境保全プランの策定に対する水質・流量調査と評価方法の考え方

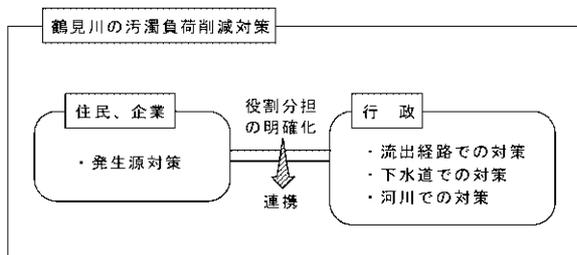
目標	時期・頻度	調査地点・位置	評価方法
ふれあえる水辺・川	目的である親水活動が行われる時期を対象に、調査頻度や時期を設定する必要がある。	親水活動が行われる場所を代表する地点・位置を選定する。ただし、川の中に入る行為を目標の対象とする場合など、深さ方向の水質が影響する場合には、水深での変動がないか考慮する必要がある。	データの使用目的に応じて、水質項目毎に数値の処理を行う。また、対象とする水質項目や流量の意味するところを考慮し、平均的な要素で支配されていると考えられる項目や、常時満足しなければならない項目等の区別を行い、それに応じた数値処理・評価を行う必要がある。
多様な水生生物の生息・繁殖	生息については通年を対象としているため、年間の季節的な変動を考慮して調査時期・頻度を検討する必要がある。 また、繁殖時期を対象とした場合には、魚種によって産卵・ふ化の時期が異なることを考慮する必要がある。	生息・繁殖を代表する地点・位置を対象とする。なお、魚種によって、生息している水深等が異なることから、深さ方向の水質の変動がないか考慮する必要がある。	

- ・河道に段差を設けることによる泡の発生(景観悪化)
- ・硝化の促進によるNO₃-Nの残存
- ・し尿くみ取り処理（※鶴見川では主に上流域に残存）の浄化槽（合併処理）化に伴うT-N，T-P濃度の上昇

(4) 役割分担の明確化

水質改善対策では、役割分担を明確に位置づけていく必要があり、今後の水質環境保全対策を協議する場において明らかにしていく必要がある。

また、汚濁負荷削減の基本は汚濁の発生を抑制していくことにあり、経済的な汚濁負荷削減を実施する意味でも、行政における対策と住民をはじめとする発生源の対策を連携して実施していくことになるであろう。



5. おわりに

(鶴見川における水質環境保全対策の将来像)

鶴見川の水質環境保全のためには、「汚濁負荷削減対策」「水量の保持・回復のための対策」「水の有効利用のための対策」の3つの対策を総合的に取り組んでいき、流域全体の観点で3つの対策の調整・効率化を図っていくことが必要となる。その後、『水質改善のための行動計画（アクションプラン）』を策定し、地域・拠点における対策の具体化につなげていくプロセスが必要と考えられる。

3つの対策の調整・効率化を図っていくためには、従来の行政主体型の対策では限界があり、流域住民・企業・行政が連携して対策を推進していくことになる。この連携対策が、鶴見川の水質環境に対する課題の解決、ひいては、「ふれあえる水辺・川」「多様な水生生物の生息・繁殖」に関わる水質環境の高度化へと繋がっていく。

また、流域住民・企業・行政の連携を促進するためには、互いに鶴見川流域への理解を深め、意識を醸成させていくことが必要となる。行政の立場としては、流域住民・企業へ水質環境保全のための基礎となる情報を積極的に公開し、理解を得るための方策や、住民・企業が協力しやすい環境を整備していかなければ

ならない。また、汚濁の発生源である流域住民・企業の立場としては、個人や企業でできる対策を徹底することが、河川環境をとりまく新しい社会像の実現につながることを認識して、積極的に対策にとりくんでいくことが必要であろう。

謝 辞

本研究を行うにあたり、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所河川環境課、および「鶴見川の新しい水質環境保全のための技術検討会」の武蔵工業大学助教授 長岡裕委員長、各委員をはじめ多くの方々のご指導、ご助言を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平成14年全国一級河川の水質現況 (2003)：国土交通省河川局編
- 2) 下水道試験方法 上巻(1997)：(社)日本下水道協会
- 3) 水産用水基準 (2000年版)：(社)日本水産資源保護協会
- 4) 河川浄化施設の硝化性能に関するパイロットプラント実験 渡辺拓, 佐藤和明, 岸田弘之, 海野修司, 吉田成人, 伊勢勉, 若林賢二, 早迫義治 (2003)：環境工学論文集 第40巻 pp.279-289

Ⅱ 河川整備計画に関する調査研究

3. 河川流域の整備と河川水理環境の変化に関する研究

山口 甲* 吉岡 紘治** 千葉 則夫*** 稲葉 行則**** 永松 宏*****

要 旨

近年、河川空間の自然的、人為的な水理条件の変化が、生態環境へ影響を与えているので、その予測を行うことが極めて重要である。河川はもとより土砂を輸送する流水と砂礫で構成されている河道で形成されているので、流水及び土砂流出条件の場である流域全体を視点に入れて河川環境の変動予測を行う必要がある。本研究は乳牛を飼育する酪農業を中心に地域整備を行ってきた標津川流域において、それらが河川水理環境に及ぼした影響を定量的に評価しようとするものである。

キーワード (標津川 蛇行波長 土砂動態 河床変動)

1. 標津川流域の変遷

1.1 標津川の河川環境問題

標津川の問題を述べる前に河川環境についての時代的な認識の変遷を述べる。河川空間で生じている諸事象に対する価値は歴史、文化、風土、学術、社会状況など多様な分野から評価されている。その価値観が社会的に共有されるように熟成するとその保全、実現に向かったの行動規範が生まれてきた。現在の河川

環境の保全、自然再生の取り組みも同様である。

明治初期の河川認識の中心は交通手段としての舟運の場所であり、また干拓地などのかんがい用水を取水する場であった(低水工事)。その後鉄道交通の普及によって舟運の場としての認識は希薄となるが、一方で洪水の氾濫に対する安全対策(高水工事)が強く認識されて河川法(明治29年)制定によりその実行を確かなものとしている。戦後高度経済成長期を迎えて都市への人口、工場集中による都市用水の需要増加が災害防止に加えて、多量の水資源を河川に求めてきた。更には東京オリンピック以降体力健康増進の気運が高まり、河川敷地を運動広場として活用するような国民運動が起きた。また都市河川の水質汚染問題も同時に起きた。これらの社会的な行動はいずれの時代とも望ましいとの認識に立って行ってきた。

そして現在では河川空間は動植物の生息空間として強く認識されていることである。更にはかつての自然機能を保持する河川として自然再生を行動に起こそうということも論じられている。損なわれた自然の再生といっても、自然を変えたことによる社会的資産の蓄積との関係をどのように調整するかの課題が残されている。そこで生態環境と河川水理環境の関連性を解明することが増々重要視されてくる。

さて、今日にあって標津川流域の環境問題は、一面

* (財)河川環境管理財団 研究顧問
** (財)河川環境管理財団 北海道事務所長
*** (財)河川環境管理財団 北海道事務所 調査課長
**** (財)河川環境管理財団 北海道事務所 調査課主幹
***** (財)河川環境管理財団 北海道事務所 調査課係長

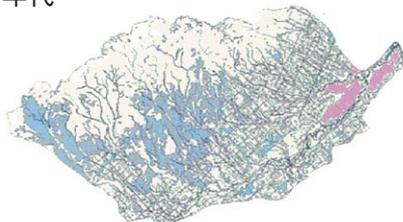
なっていた地表面に至る高い地下水位を低下させる工事を行い、現在ではその目的は達成し図1・2に示すように全区域草地として利用している。その河川工事は蛇行河道を新しい水路で結び河川延長の短縮によって、河床低下、横断形状の拡大、河川水位の低下を図り、湿地の草地利用が進んできた。

写真1・1は泥炭地を流れる河道の変化例である。河道を短縮したことによって河川水位は約1m下り、草地化された土地の雨水排水や地下水位の低下を促し、肥沃である土壌の存在と相俟って、台地以上の牧草の

凡 例

樹林地	自然林	草地	野草地	人工構築物	市街地
	雑林地		造性草地		家畜舎 および畜厩
新植林地	牧草地	農地	畑地	工場等の施設	ゴルフ場
伐採跡地	灌地		造成地等		道路
ハイマツ	水田	河川・湖沼	堤防		

昭和20年代



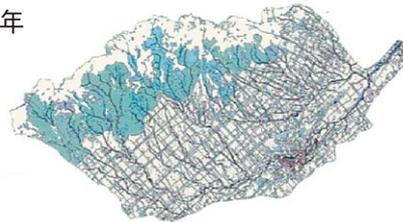
- ・下流部一帯が大規模な湿地帯
- ・山地のほとんどは自然林

昭和40年代



- ・標津川流域で農地開発が進み、牧草が増加

平成7年



- ・残っていた湿地のほとんどは消える

図1・2 標津川流域の土地利用変遷

生産量を得ている。これら河道形状の変化は土砂輸送量及び水循環に影響しているものと考えられる。また河川及び周辺の動植物の生息環境を考えると、その河川の河道条件が変わったことによる影響が考えられるので、河道条件と生態系の生息環境との関連性、影響度についての究明が自然再生を考える上で不可欠であり、また必要としている。これら流域内の人為的な地表及び河川形状の変更は、流域内の社会形成と密接な関係であることは言うに及ばない。居住人口は酪農業としての地域開発と共に昭和25年以降を見ても増加傾向を見せていて、現在でも増加している。この地域社会を支えたものは乳牛の導入によるものであり、図1・5に示すように急激な導入をして現在では57,000頭をこえており、人口の約2倍の頭数に達している。これら乳牛の導入は糞尿の排出によって河川水質の汚濁

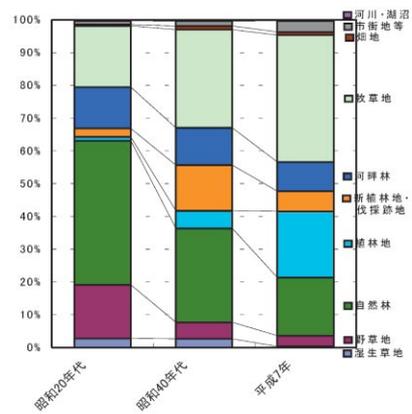


図1・3 土地利用の面積比の経年変化

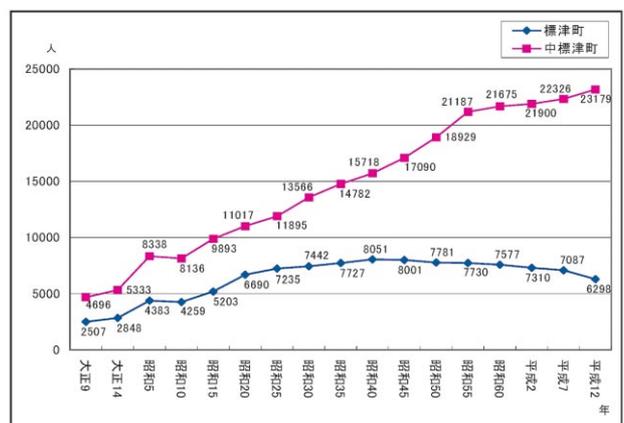


図1・4 中標津・標津町の人口推移

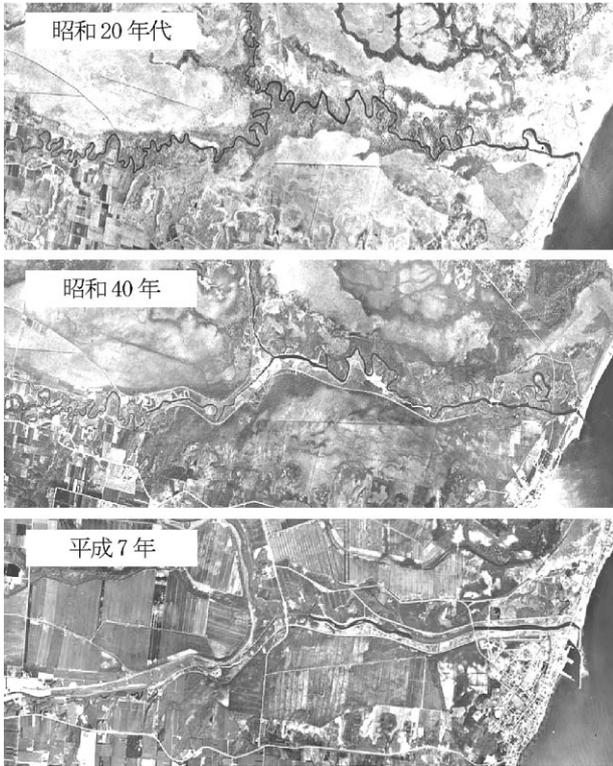


写真1・1 標津川流路変遷図

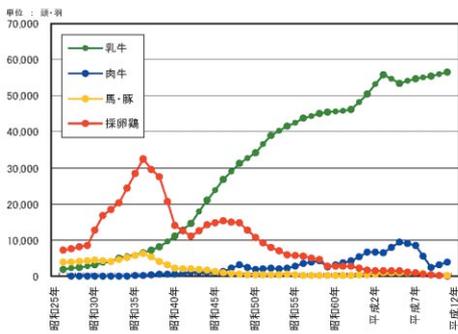


図1・5 流域の家畜数の推移

が懸念されるものの、幸にして図1・6²⁾に示す水質項目は環境基準値以下の値である。ところが、河川流量は土地利用による地被条件変化の影響が表れている。図1・7³⁾は各年の年最大日雨量(中標津)と年最大流量(合流点観測所)の経年値を示すが、示した雨量、流量それぞれの目盛において近年ほど重なる傾向が見られる。これは牧草地の拡大によって同一の日雨量であった場合でも大きな洪水量が発生していることを表している。それを年代別に図1・8³⁾に示していて、経年的に最大流量が起り易い状況のもとにある。

図1・9³⁾には標津川位況の変遷を示している。最高

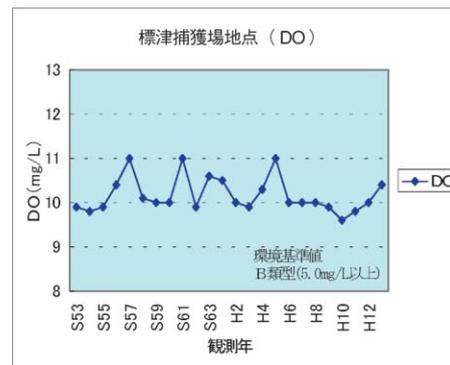
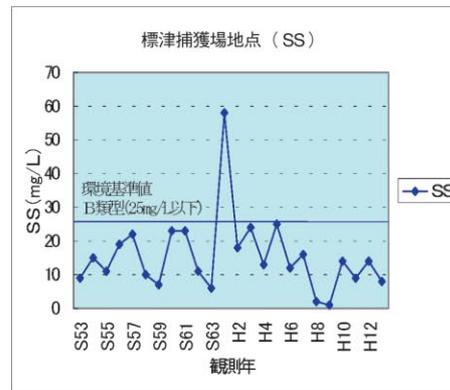
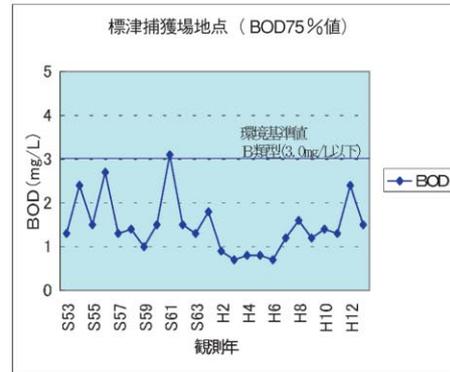


図1・6 近年の河川水質

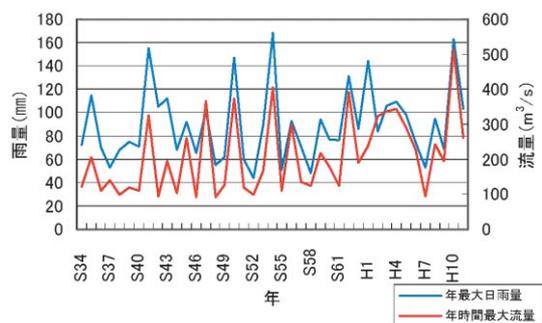


図1・7 中標津年最大日雨量と合流点年最大時間流量

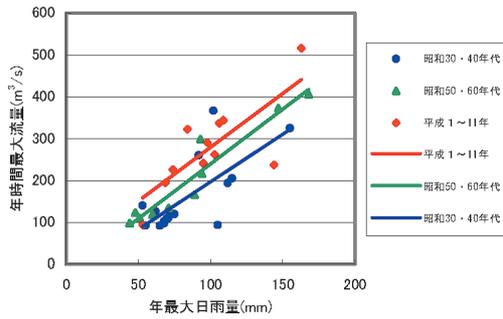


図1・8 中標津年最大日雨量と合流点年最大時間流量との関係

水位は近年大きな洪水が起きているにもかかわらず、河川水位は下がっている。また最低水位など他の位況とも低下傾向にあり平水位で約1.0mの低下が見られる。これは蛇行流路を捷水路工事によって河道延長を短縮したことに起因する現象であって、洪水氾濫頻度の減少または湿地の牧草地化を助けたものである。

これらの流域及び河道形状の変化は河川の生態系への影響が懸念される。石城（いしがき）氏⁴⁾は標津地方の河川におけるイワナの生息調査を行った。その一部を図1・10に示すが、標津川はイワナの生息河川として極めて特異な河川であることを指摘している。それは標津川より南側河川はいずれも白点型（アメマス）のイワナのみが生息するのに対して、北側河川は赤点型（オショロコマ）のイワナだけが確認されている。ところで標津川では両タイプのイワナが上流域と下流域に住み分けている河川であることを指摘している。これ



図1・10 標津地方におけるイワナの採集地点

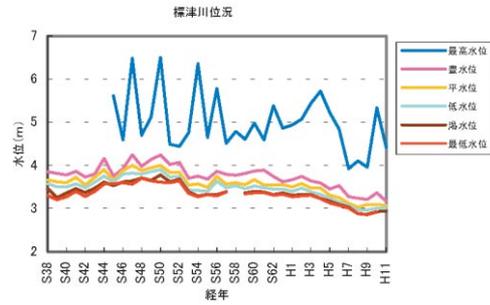


図1・9 標津川位況（合流点観測所）

らは北海道内に2000河川あるといえど稀なる河川であって、イワナ種に着目するだけで他河川に見られない貴重な河川である。標津川周辺の動植物の種の変遷は明らかでないが、現況調査として平成12~13年の4季について、下流部の捷水路工事を行った河道区間の代表地点で調査したものが表1・1である⁵⁾。動植物の種数が多数確認され、北海道域内河川の中でも生息種数が豊富な河川にあたる。水辺の国勢調査による他河川と種数を比較すると図1・11のとおりである⁶⁾。

また天然記念物、データブック記載種を重要種とし、その生息種は表に示すように多くの種が確認されており、これら重要種の生息状況から見ても多様な動植物に恵まれた河川といえる。従って標津川流域における動植物の生息環境の問題は動植物の多様性と種の保全の面から河川の河道環境との関連性を究明することが重要と考える。

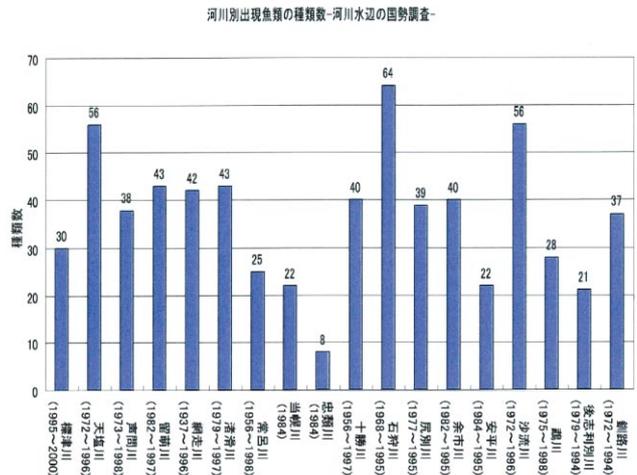


図1・11 河川別出現魚種類（水辺国勢調査）

表1・1 標津川の動植物調査結果

調査項目	春季	夏季	秋季	冬季		
植 物	調査期日	平成13年5月22～25日	平成12年8月19～22日	平成12年9月22～25日		
	確認種数	86科449種				
	確認重要種	ヤチスギナ ナガバツメクサ シコタンキンボウゲ エゾスズシロ ホザキシモツケ エゾナミキソウ ホロマンノコギリソウ クロユリ アカンカサスゲ	ノダイオウ エゾオオヤマハコベ バイカモ エゾネコノメソウ オオバタチツボスミレ エゾノカワチシャ ホソバヒルムシロ ヒメウキガヤ ウスイロスゲ	オオミミナグサ エゾレイジンソウ ネムロコウホネ クロミサンザシ ヤマタニタデ タヌキモ イヌイトモ ホソバドジョウツナギ エゾハリスゲ	ハマハコベ キタミフクジュソウ ナガミノツルキケマン エゾクサイチゴ イソツツジ ネムロブシダマ イトモ タマミクリ	
	調査期日	平成13年6月2～5日	平成13年7月6～9日	平成12年9月23～26日	平成13年2月2～5日	
	確認種数	31科102種				
	確認重要種	ヒシクイ オオタカ タンチョウ コアカゲラ	ミサゴ ハイタカ オオジシギ	オジロワシ チュウヒ ハリオアマツバメ	オオワシ チゴハヤブサ カワセミ	
	魚 類	調査期日	平成13年6月18～21日		平成12年9月23～26日 平成13年9月10～14日 平成13年9月25～27日	
		確認種数	9科20種			
		確認重要種	シベリアヤツメ イトヨ ハナカジカ	アメマス トミヨ エゾハナカジカ	ヤマメ イバラトミヨ(淡水型)	ヤチウグイ エゾトミヨ
	昆 虫 類	調査期日	平成13年6月25～28日	平成13年7月23～26日	平成12年9月11～13日	
確認種数		178科877種				
確認重要種		キタイトトンボ ミズムシ キタマダラチビゲンゴロウ ヘイケボタル ネグロクサアブ ヒメウスバシジロチョウ シロオビヒメヒカゲ	ルリイトトンボ セスジアカガネオサムシ エゾコガムシ ヨスジホソハナカミキリ カラフトタカネキマダラセセリ ゴマシジミ	エゾアカネ アナバネゴミムシ オビモンマルハナノミ ケマダラカミキリ ギンイチモンジセセリ コヒオドシ	ヒメリスアカネ チビコガシラミズムシ キタサシゲマルトゲムシ ミソハギハムシ チャマダラセセリ ヒョウモンチョウ	
調査期日		平成13年7月2～6日		平成12年11月20～23日 平成13年9月10～14日 平成13年9月25～27日		
確認種数		72科139種				
確認重要種	ミズムシ					
哺 乳 類	調査期日	平成13年6月2～4日		平成12年9月11～13日	平成13年2月2～5日	
	確認種数	8科10種				
	確認重要種					
両生・爬虫類	調査期日	平成13年5月22～24日		平成12年9月11～13日		
	確認種数	2科3種				
	確認重要種	エゾサンショウウオ				

注：確認重要種は、文化財保護法の天然記念物、環境庁のレッドデータブック（レッドリスト）、緑の国勢調査、北海道レッドデータブックによる。

2. 河川水理環境の変化

2.1 雨水の流出

本研究は地被条件の変化に伴い起きる雨水の流出の変化を二段タンク型貯留関数モデルで検証する。嵯峨⁷⁾は図2・1、表2・1に示す二段型貯留関数モデルで洪水流出の再現性が良いことを提言しているので、嵯峨モデルで洪水を再現計算する。パラメータ $C_1 \sim C_5$ をそれぞれの洪水例ごとに同定し、計算結果を図2・2に示すが、上段タンクの流出量が1次流出に当たる流出成分を表す。その1段タンクの流出特性を表すパラメータ C_1, C_2 の変化を洪水規模とし24時間雨量 R_{24} との関連性、経年変化の2面から考察する。図2・3、2・4は R_{24} との関係で表している、 C_1 は大きな洪水で小さくなり、一方 C_2 は大きくなるトレンドが見られ式(2・1)の S_1 の構成因子は降雨規模によって構成が変化することを表す。また昭和47年以降平成10年までの27年間の間に C_1 は小さくなる傾向が見られ、これは流量増加として表れている(図2・5、2・6参照)。

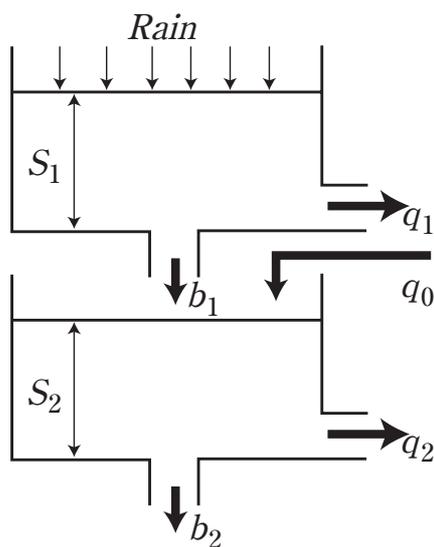


図2・1 二段タンク型貯留関数モデル

表2・1 基礎式

上段タンク

$$\begin{cases} dS_1/dt = r - q_1 - b_1 \\ S_1 = k_1 q_1^{p_1} + k_2 \cdot d/dt (q_1^{p_2}) \\ b_1 = \alpha_1 q_1 \end{cases} \quad (2 \cdot 1)$$

下段タンク

$$\begin{cases} dS_2/dt = b_1 - q_2 - b_2 + q_0 \\ S_2 = k_4 q_2 + k_5 \cdot dq_2/dt \\ b_2 = \alpha_2 q_2 \\ q_0 = Q_B \exp(-\lambda t) \end{cases} \quad (2 \cdot 2)$$

$$q = q_1 + q_2 \quad (2 \cdot 3)$$

ここに、 S_1, S_2 ：貯留高 (mm), r ：観測雨量 (mm/hr), q_1, q_2 ：流出高 (mm/hr), b_1, b_2 ：浸透量 (mm), q_0 ：基底流出高 (mm/hr), k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 ：貯留係数, α_1, α_2 ：損失係数, p_1, p_2 ：貯留指数, λ ：減水係数, Q_B ：初期流出高 (mm/hr)

$$\begin{cases} k_1 = c_1 A^{0.24} \\ k_2 = c_2 k_1^2 (\bar{r})^{-0.2648} \end{cases} \quad (2 \cdot 4)$$

ここに、 A ：流域面積 (km^2), \bar{r} ：平均雨量強度 (mm/hr)

下段タンクにおいては、

$$\begin{cases} k_4 = c_4 A^{0.4} \\ k_5 = c_5 k_4^2 \end{cases} \quad (2 \cdot 5)$$

$$(1 + \alpha_2) / k_5 = n \lambda_2 (k_4 / k_5 - \lambda_2) \quad (2 \cdot 6)$$

$n = 2$

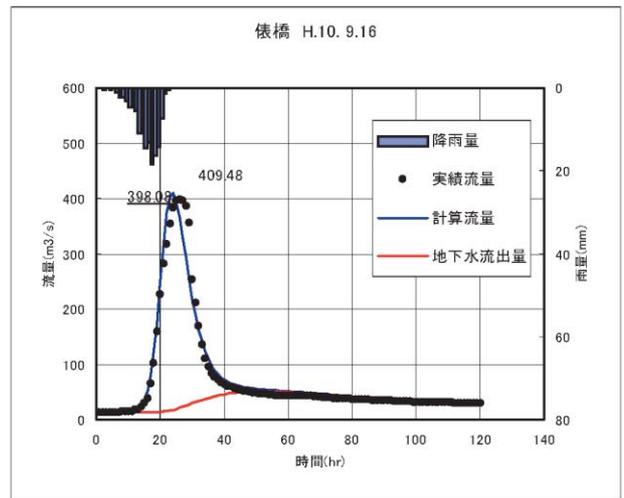
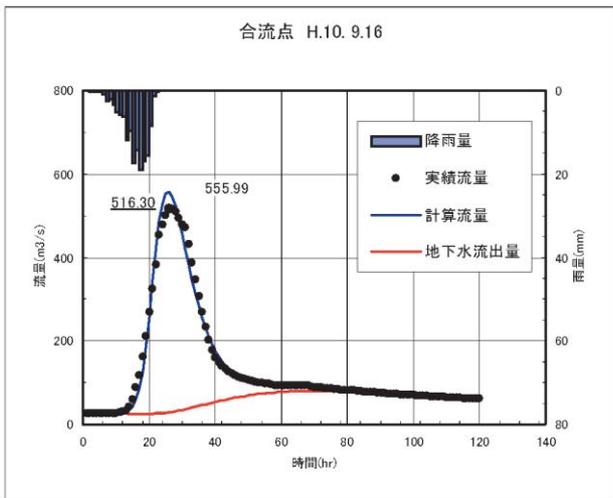
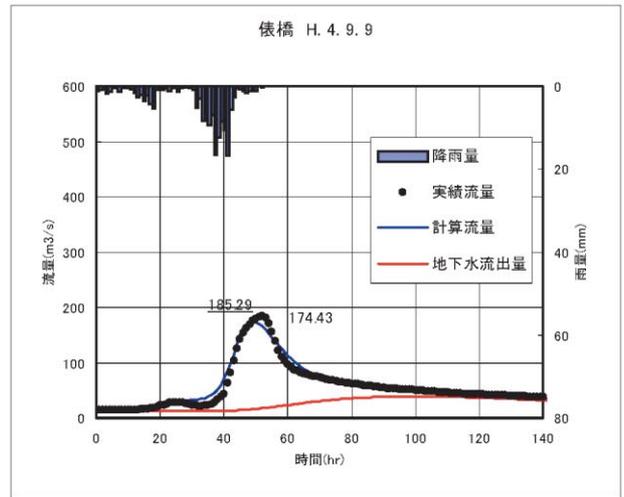
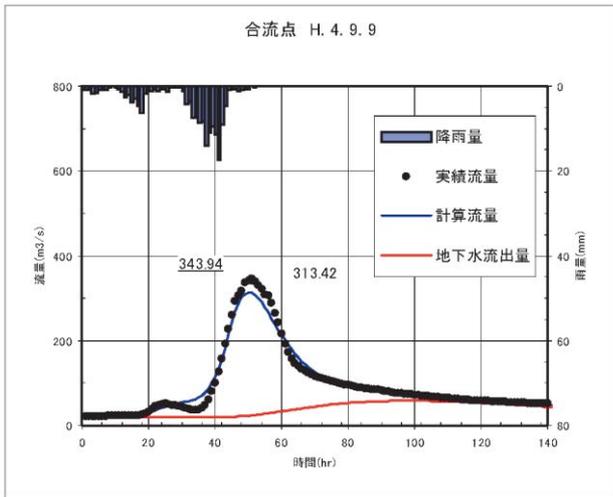
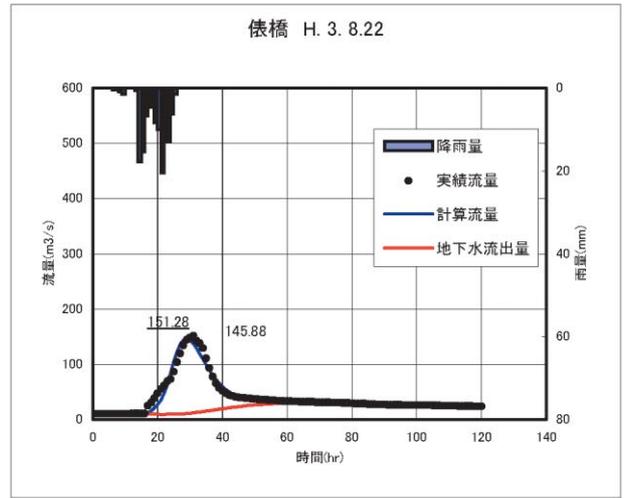
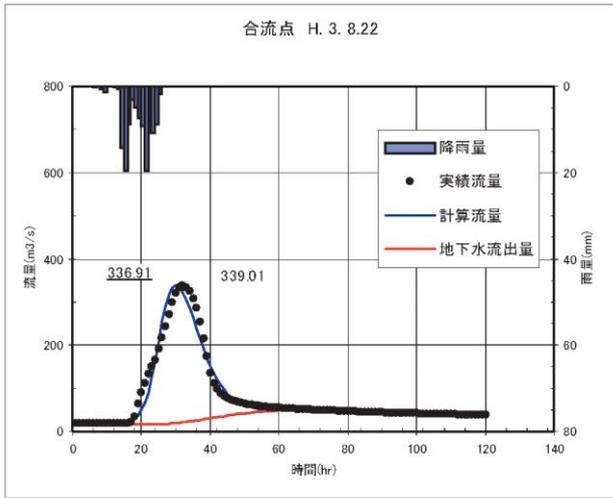


図 2・2 洪水再現計算例

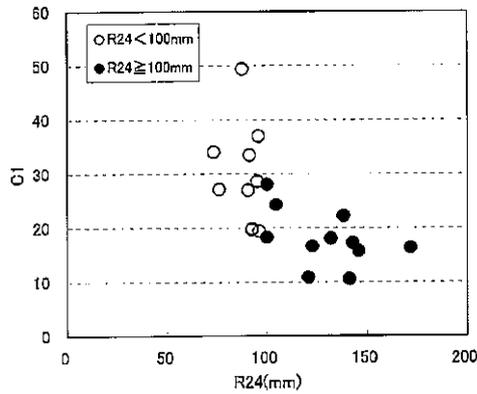


図 2・3 R24とC1との関係

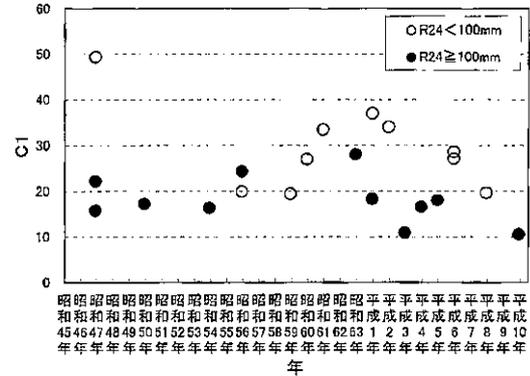


図 2・4 C1の経年変化

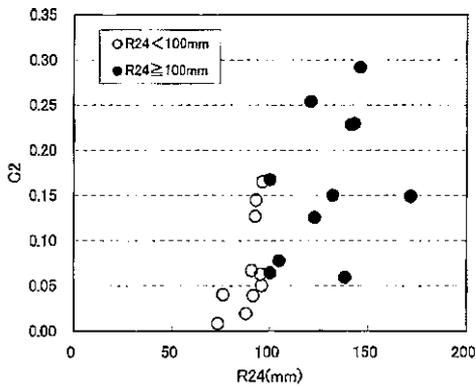


図 2・5 R24とC2との関係

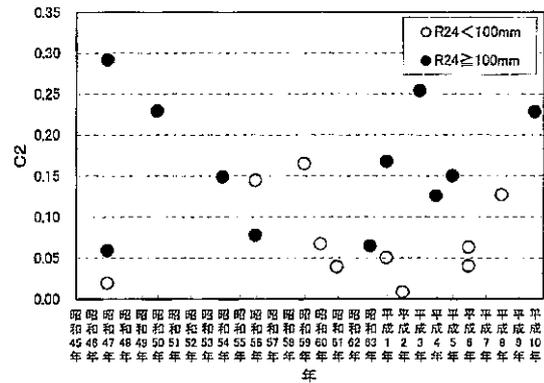
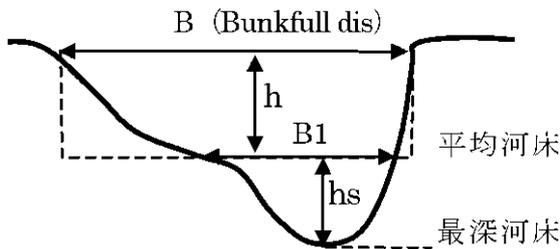


図 2・6 C2の経年変化

2.2 河道形状

(1) 横断形状

平成12年測量の横断形状は現河道形状と旧川の形状が測定されている。そこで、現低水路と旧川それぞれについて平均河床高に対する水深と水面幅について分析する。断面緒元の記号は以下の通りである。



断面模式図

[定義]

B:低水路満杯時の水面幅

B1:平均河床高での断面幅

h:低水路満杯時の平均水深

hs:平均河床高から最深河床高までの深さ
(洗堀深)

河道0~10.2kmの低水路満杯時の水面幅B、現河道、旧川(原河道)は図2・7に示すように、現在水面幅の方が大きく平均幅で56.91mに対して、原河道では40.69mであって、現在の河道は拡幅工事によって大きくなっている。また平均河床高での横断面幅B1は図2・8に示すように約10m広がった。

次に洗堀深hsは水面幅、砂州など関係するものと考えられる。まず深さ毎の断面数を統計処理して図2・9に比較して示す。平均したhsは旧川で1.23m、現在0.88mで表されるようにhsは小さくなっていること

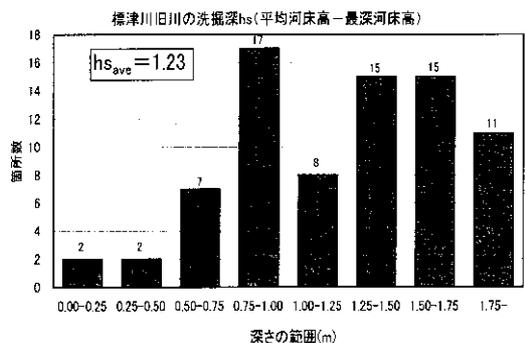
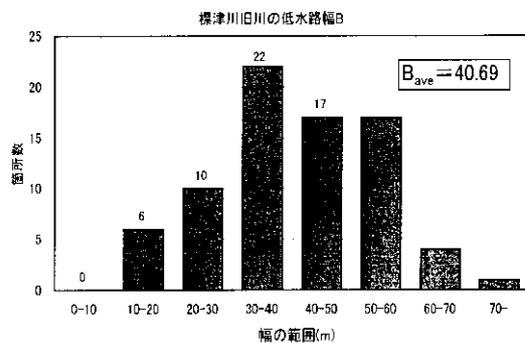
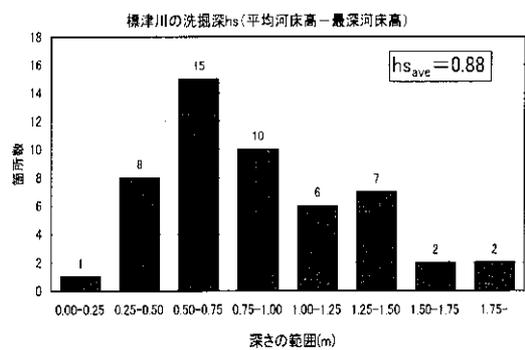
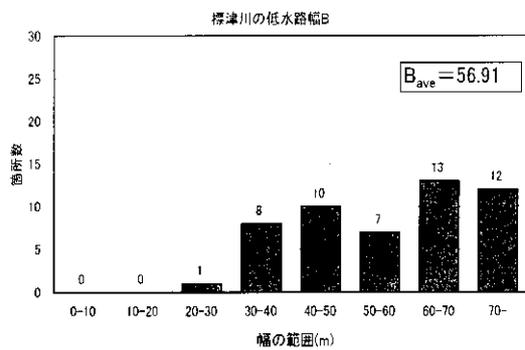


図 2・7 低水路幅 (B)

図 2・9 洗掘深hs

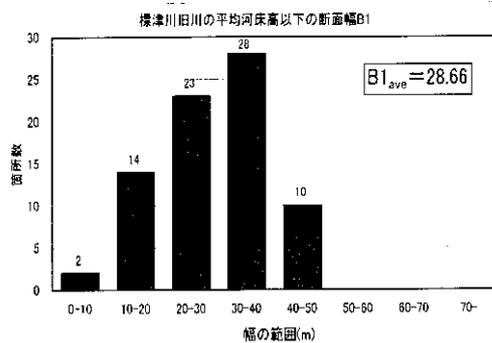
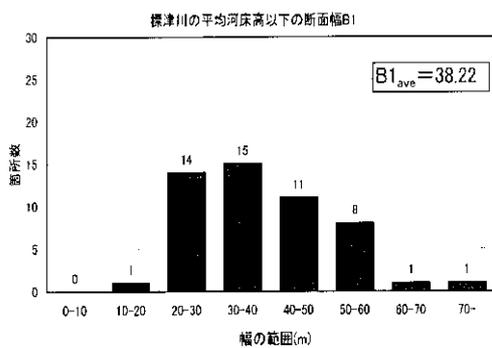


図 2・8 断面幅 (B1)

が分かる。

このように河川工事を行う前の河道（旧川）と現河道（平成12年）には多くの変化が見られる。今資料が揃っている0～10.2km区間における現河道と旧川の比較を各々の平均値で表すと表2・2のとおりである。

表 2・2 新・旧河道諸元

水理量	旧川	現河道
河道延長 (m)	17,100	10,200
低水路幅B (m)	41	57
平均河床高幅B ₁ (m)	29	38
蛇行長λ (m)	299	960
洗掘深hs (m)	1.23	0.88
平均流速 (m ³ /s)	1.39	1.46

注：年最大流量 (208m³/s) の水理量

現在の河道延長10.2kmは旧河道延長で約17.1kmであるので捷水路工事によって6.9km短縮されている。また低水路幅は41mが57mに拡幅している。これら河道延長の短縮，河床高の低下などがあって一概には論じられず，検討を要する所であるが，水面勾配は約1.68倍と大きくなって，これらが平均流速，掃流力を大きくする要因の1つとなっている。

ここでは平均的な水理量をもって旧川と現河道の河道を比較する（表2・2参照）。

- (1) 旧河道（17.1km）現河道（10.2km）共に単列砂州発生領域にあるので瀬と淵は縦断方向に交互にできて，その数はそれぞれ114カ所，21ヶ所となって瀬と淵の数は減少している。
- (2) 河川流量によって瀬，淵の水深は変わるが，今平均河床高を基準に考えると，淵の深さは旧河道で1.23m，現河道で0.88mと0.35m浅くなっている。その基準面幅B1はそれぞれ29m，38mであるから淵の幅は広がっている。
- (3) 低水路内の面積は旧川 $701 \times 10^3 \text{m}^2$ ，現河道 $581 \times 10^3 \text{m}^2$ と河川の面積は減少した。また平均河床高以下の流水の容量は全区間合わせて，それぞれ $610 \times 10^3 \text{m}^3$ ， $341 \times 10^3 \text{m}^3$ であって小さくなり，水深が0.35m小さくなった広く短い河道に変化している。

標津川下流（直轄）ではかつての17.1kmの旧河道延長が捷水路によって10.2kmの河道延長となっている。また上流河道（補助），支川武佐川（直轄）の蛇行波長 λ を求積して，山口の式⁸⁾により次式で整理した。この時水理量は年最大流量の平均値である。

$$\lambda/B = \alpha \phi \sqrt{F_r} \sqrt{\frac{h}{B}} \quad (2 \cdot 7)$$

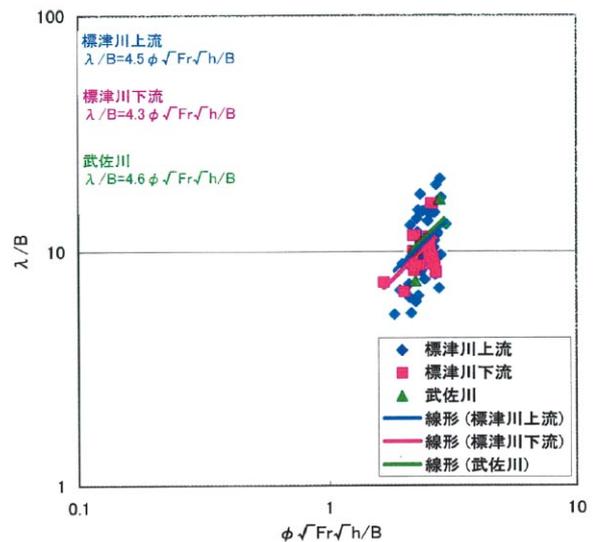
λ ：蛇行波長 B：低水路幅 $\phi = U/\sqrt{ghI}$

F_r ：フルード数 h：水深 U：平均流速

I：水面勾配 g：重力加速度 α ：定数

旧河道及び現河道の結果は図2・10のとおりである。自然河道では標津川上流，下流，武佐川ともに同一地点にプロットされる。一方現河道では3河道区間によって異なった α 値で表されている。これは設計した蛇行流路の形状がそれぞれ異なっていて，その影響が現在の形に残っているものと考えられる。

標津川（昭和22年,27年）蛇行波長



標津川（平成7年,12年）蛇行波長

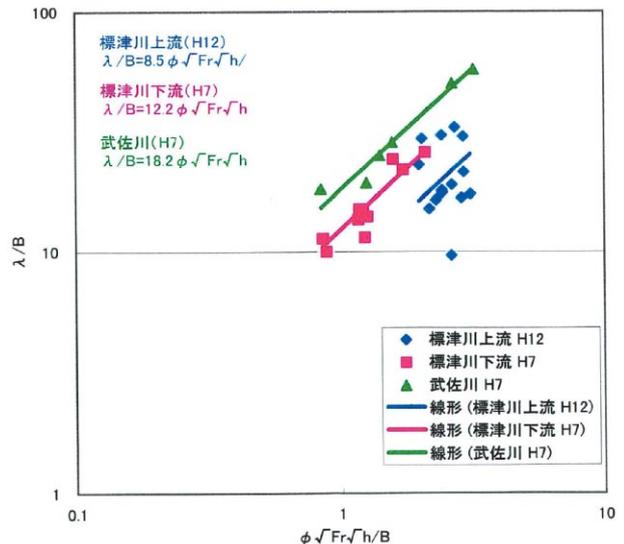


図2・10 $\frac{\lambda}{B} \sim \phi \sqrt{F_r} \sqrt{\frac{h}{B}}$

2.3 土砂動態

(1) 流砂量観測

平成13年共成橋，合流点上流観測所地点で浮遊砂量，掃流砂量の観測を始めた．そこで次式で近似して流砂量を求めておき，土砂流出の実測基本量とする．

$$\text{浮遊砂量 } Q_s = 4.24 \times 10^{-6} Q^{1.778} \quad (2 \cdot 8)$$

$$\text{掃流砂量 } Q_B \text{ 芦田・道上の式} \quad (2 \cdot 14 \text{式参照})$$

Q_s ：浮遊砂量 (m³/s)， Q ：流量 (m³/s)，

Q_B ：掃流砂量 (m³/s)

その浮遊砂の粒子及び河床礫粒径は図2・12～14のように河床砂に比べて浮遊砂は1～2オーダー小さい粒子で構成されている．河床砂礫の縦断分布であるが，平均粒径は河口で大きいこれは河川から運ばれた砂礫ではなく，波浪，沿岸流によって，河口北側から運ばれた漂砂である．その上流の縦断分布は武佐川が合流する地点の上・下流で粒子の大きさに違いが見られ，粒径に与える武佐川の影響が大きく表れている．

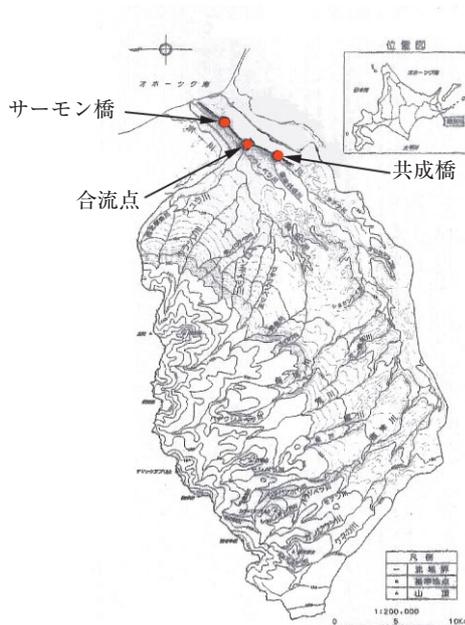


図2・11 標津川モニタリング地点

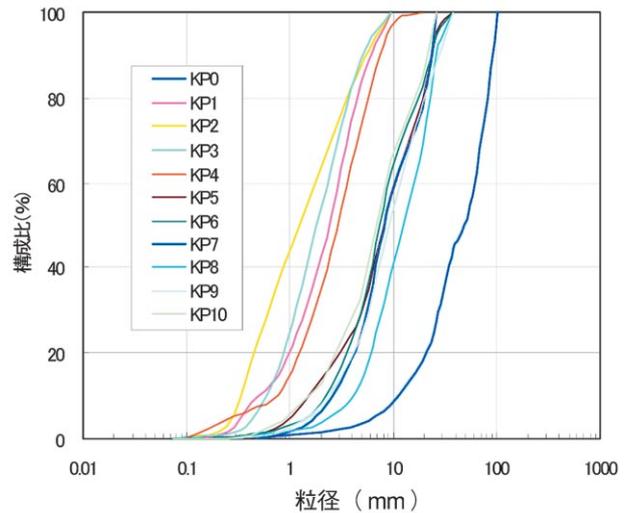


図2・12 標津川の粒径加積曲線（平成12年調査）

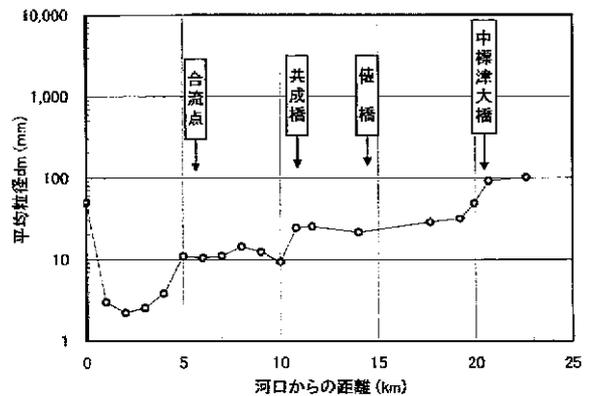


図2・13 標津川平均粒径縦断図

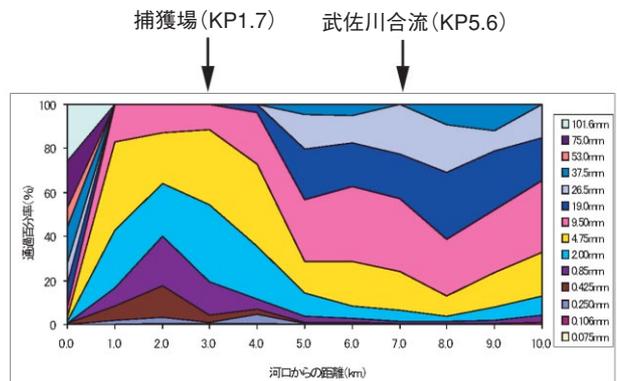


図2・14 標津川の河床材料粒径分布縦断図

(2) 土砂の流出

これまで石狩川流域や釧路川流域に適用している土砂流出モデル⁹⁾を以下に示す。同モデルは地形条件から1降雨による土砂流出量を得ることができるので、(2・9)式に対象流域の地形因子や日有効降雨量を与えることにより土砂流出量が計算できる。

$$V=K\{A^{3/10}(\tan\theta_1)^{9/20}(\tan\theta_2)^{3/10}Re^{9/5}\} \quad (2 \cdot 9)$$

ここでVは土砂流出量(m³)、Kは土砂流出係数、Aは流域面積(km²)、 θ_1 は流域平均斜面勾配(度)、 θ_2 は幹川河道勾配(度)、Reは日有効降雨(mm)である。また本モデルでは、{ }内を土砂流出因子(F)と呼ぶこととする。

基準点である合流点観測地点では流域面積A 657km²、平均斜面勾配角度 θ_1 12.58度、幹川河道勾配角度 θ_2 0.258度である。年降水量は図2・15のとおり平成1年より多くなっている。また流出高も同様な経年値を示している。基準点の流量から浮遊砂及び掃流砂を計算し年流出土砂量を図2・16に示すが、平成1年以降の流出土砂量は年降水量の増加量よりさらに大きい増加量となっている。これには日有効降雨Reに大きなものが発生しているのか、または流域からの土砂流出量が大きくなるかの要因が考えられる。

式(2・9)の流出土砂因子Fと土砂流出量のそれぞれ累加値で流出土砂係数Kを求めて実測と比較して図2・17に示す。再現性は良好と見られる。

計算結果から標津川流域の近年の流出土砂量は降雨量Reが大きいものが見られること、また土地利用が拡大するなど地被条件、または河道条件の変化が土砂流出を多くする結果となっていることが考えられる。

(3) 河床粗度及び河床形態

一般に移動床河川では、流れの強さに応じた河床形態が形成され、河床粗度に直接的に影響を及ぼす。河床形態のうち、そのスケールが水深規模のものを小規

模河床形態もしくは河床波と呼んでいる。

先に検討したように合流点観測所(KP5.4)の中規模河床形態の領域区分は、図2・18のように砂州非発生もしくは単列砂州に属する。この場合砂州の上に河床波が共存してこれが河床粗度に大きな影響を及ぼすことが指摘されているため、河床抵抗に関する岸・黒木の理論¹⁰⁾により河床粗度を推定する。

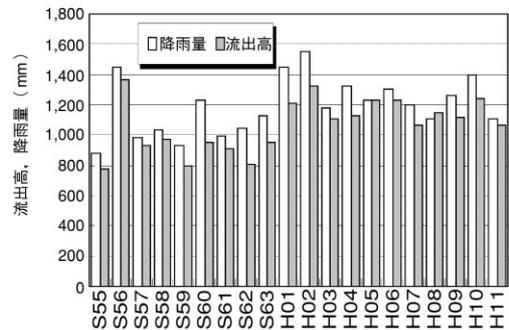


図2・15 合流点観測所の年降水量と年流出高 (S55~H11年)

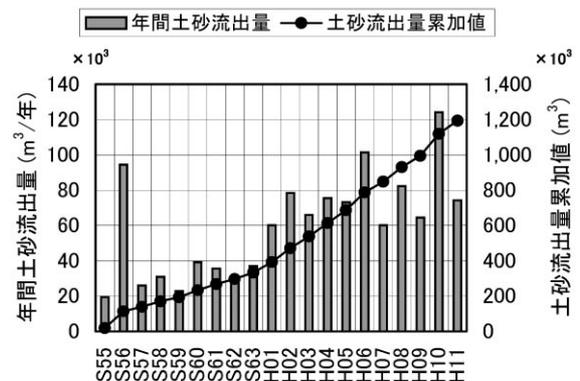


図2・16 流出土砂量の経年変化

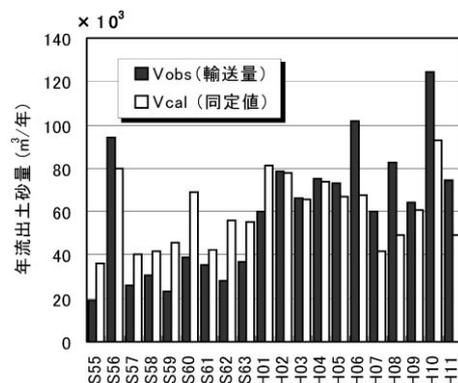


図2・17 同定値Kによる流出土砂量の再現 (K=6.06)

河床せん断力を無次元化して次式のように表す。

$$\left. \begin{aligned} \tau_* &= \frac{hI}{sd} \\ \tau'_* &= \frac{h'I}{sd} \end{aligned} \right\} (2 \cdot 10)$$

ここで、 τ_* は河床せん断力、 τ'_* は粒子せん断力、 h' は τ'_* に対する径深である。

h' は流れが対数則に従うとすれば次式で表される。

$$u = \sqrt{ghI} \{6.0 + 5.75 \log(h'/2d)\} (2 \cdot 11)$$

ここで、 u は平均流速、 g は重力加速度である。

前式で表される τ_* および τ'_* は河床形態の領域区分別に次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \text{砂堆 I} & \tau'_* = 0.21 \tau_*^{1/2} \\ \text{砂堆 II} & \tau'_* = 1.49 (h/d) \tau_* \\ \text{平坦} & \tau'_* = \tau_* \\ \text{反砂堆} & \tau'_* = 0.246 (h/d)^{1/5} \tau_*^{1/2} \\ \text{遷移 I} & \tau'_* = 6.5 \times 10^7 (h/d)^{-2/5} \tau_*^{11/2} \end{aligned} \right\} (2 \cdot 12)$$

図2・19より合流点観測所の小規模河床形態の領域は、砂堆 I (DUNE I) であると考え河床粗度を推定する。その結果からマニング粗度は実測値では0.028、推定値では0.026であり、以降河床変動計算には実測値を用いる。

(4) 河床変動と輸送土砂量

河床変動量及びその時計算される掃流砂量、浮遊砂量は1次元非定の流れの中で粒径別に土砂量を計算し、表2・2に示す諸式を用いている。

標津川の0～10.2km区間で1979、2000年に河道の縦横断測量を行っている。低水路内の平均河床高は図2・20に示すように、11年間で河床が低下している。またこの

期間中には296,000m³の河道掘削を行っていて、河

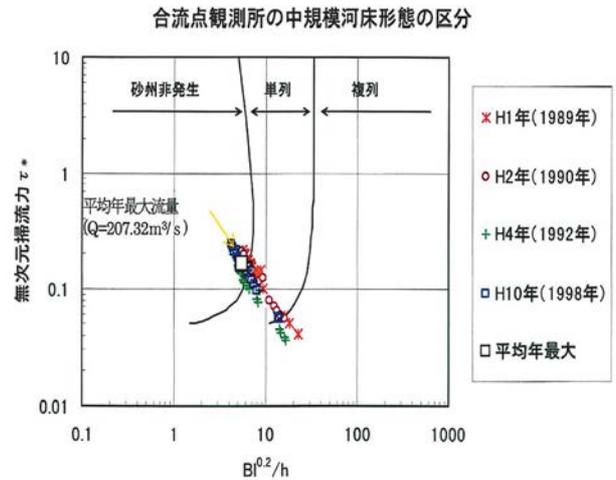


図2・18 合流点観測所 (KP5.4) の中規模河床形態の区分

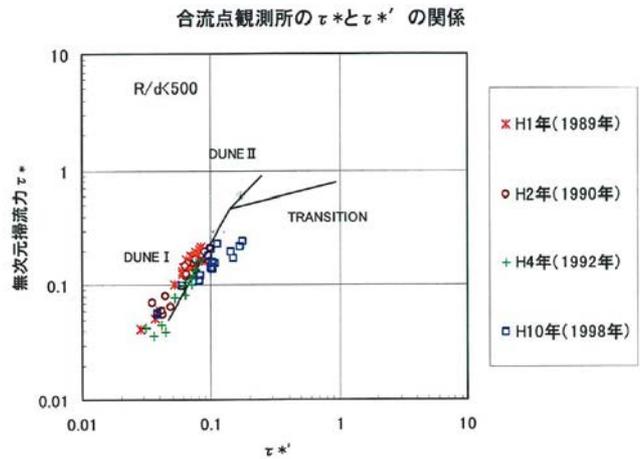


図2・19 合流点観測所 (KP5.4) の関係

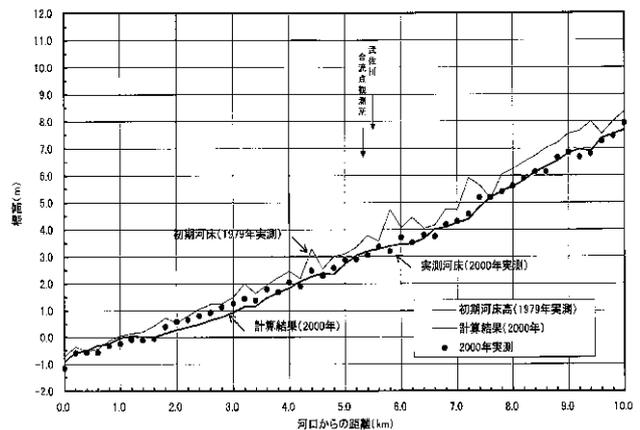


図2・20 河床変動計算による平均河床高の縦断変化図 (再現計算)

床低下要因の1つになっているので、毎年の掘削量を計算断面間隔200m毎に整理して計算システムに入れている。

計算条件は上流端10.2km地点を固定点として浮遊砂量は実測による流量との相関式で与える。下流端は河口水位観測所の実測水位を与えている。計算時間は日単位とし日流量で計算する。1979年の河床高を初期値として与えた2000年の計算河床高は図2・20に示しており、河床高の再現は良好な結果である。またこの計算で得られる年輸送土砂量を5.4km地点合流点観測所で図2・21に示す。計算結果から年々流砂量が増加しており、特に掃流砂量が大きくなる結果となっている。この原因は先きにも述べた通り降雨量の増加及び地被条件及び河道形状が変わったことによる流量の増加さらには河道内の掃流力の増加によるものである。

次に河口地点で海域に輸送される土砂量を図2・22に示す。計算流量は先きに再現で用いた1980年から2000年までの実測流量を与える。図中の再現計算は河床高の初期値を1979年とし、かつ人為的河床掘削を実績に基づいて与えた場合の値である。一方予測計算は2000年の河床高を初期値として、河床掘削を行わない場合の値である。

計算結果の河道条件の違いは次の通りである。再現計算に用いた1979年の平均河床高は2000年までの間に10.2km全区間で河床が低下し、その低下量は平均0.5mに及んでいる。この原因は1968年までに実施した捷水路工事によって河道が短縮された影響が未だ持続されたものと思われる。また河道距離1.6~5.2kmの3.6km区間の河道で1991年から1999年までの9年間に296,910m³の河床掘削を行ったことに依るものと思われる。このような河川工事の影響を排除するため2000年実測の河床高を初期条件とし、過去21年間の日流量を用いて河床変動計算を行ったところ、2000年河床高は大きく変化しない結果を得ている。その計算結果に基づく年流出土砂量を予測計算として図2・22に示している。予測値は再現計算値と比較するため、日流量

の年次で合わせている。河床掘削を行う前の昭和55年から平成2年までは河道短縮により生じた河床低下に起因する土砂量の増加が見られ、河床掘削を行った平成3年以降は河床低下分と河床掘削土を河道内から運び出さなくなったことによる流出土砂量の増加が見られる。また図2・22には標津川の流入先の海域でのサケとホタテ貝の漁獲高の経年値を示すが、近年の漁獲高が増えている。これは海域への土砂輸送量の増加と符号しており、海域環境は河川の水理環境と密接に関連する事例の1つである。

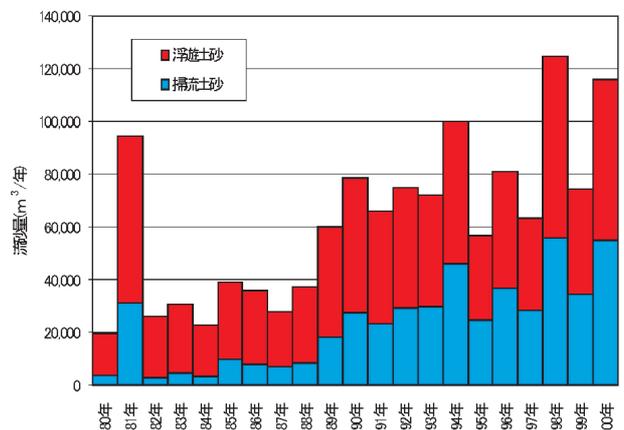


図2・21 河床変動計算による合流点観測所 (KP5.4) を通過する流砂量

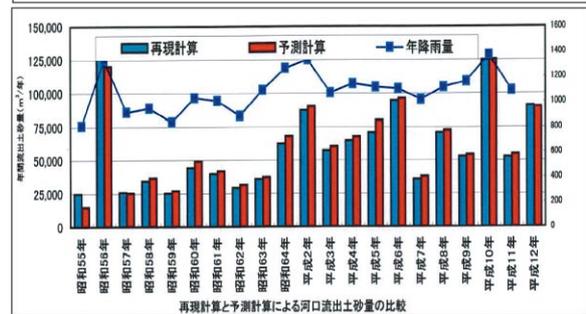
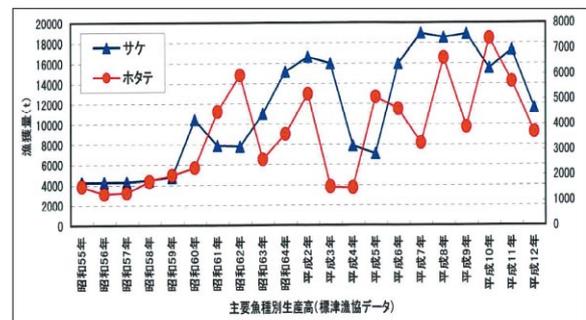


図2・22

表 2・2 河床変動計算諸式

1 次非定常流れの基礎式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2 \cdot 13)$$

$$\frac{1}{\partial A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial (Au^2)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + I_f = 0 \quad (2 \cdot 14)$$

ここで、 t は時間、 x は流下方向距離、 A は断面積、 Q は流量、 g は重力加速度、 u は断面平均流速、 H は水位、 I_f はエネルギー勾配である。

掃流砂量及び浮遊砂量の基礎式

掃流砂量式は次式の芦田・道上¹¹⁾の式を用いる。

$$\frac{q_{Bi}}{\sqrt{sgd_i^3}} = p_i 17 \tau_{*i}^{1.3/2} \left[1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*i}} \right] \left[1 - \frac{u_{*ci}}{u_{*i}} \right] \quad (2 \cdot 15)$$

ただし、 d_i は砂粒子の粒径、下付き添字 i は混合砂における粒径 d_i の粒子に対する物理量であることを示す。 q_{bi} は粒径別単位幅掃流砂、 s は砂の水中比重、 p_i は粒径 d_i の粒子が河床(交換層)に存在する割合、 τ_{*i} は粒径別無次元掃流力(河床せん断力)($=u_{*i}^2/sgd_i$)、 τ_{*i}' は粒径別無次元有効掃流力(有効河床せん断力)($=u_{*i}'^2/sgd_i$)、 u_{*i}' は有効摩擦速度

$$u_{*i}' = \frac{u}{6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{h}{(1 + 2\tau_{*i}')d_i}} \quad (2 \cdot 16)$$

粒径別限界摩擦速度はEgiazaroff・浅田¹²⁾の式で求める。

$$\frac{u_{*ci}^2}{u_{*cm}^2} = \left[\frac{\log 23}{\log \left[21 \frac{d_i}{d_m} + 2 \right]} \right]^2 \frac{d_i}{d_m} \quad (2 \cdot 17)$$

ただし、 d_m は河床材料の平均粒径($=\sum d_i P_i$)、 u_{*cm} は d_m に対する限界摩擦速度であり、岩垣³⁾の式で求める。浮遊砂の河床からの浮上量は板倉・岸¹⁴⁾の式で求める。

$$q_{sui} = p_i K \left[\alpha_* \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \frac{gd_i}{u_{*i}'} \Omega_i - w_{fi} \right] \quad (2 \cdot 18)$$

$$\Omega_i = \frac{\tau_{*i}'}{B_{*i}} \frac{\int_0^\infty \xi \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{\int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_{*i}'}{B_{*i} \eta_0} - 1 \quad (2 \cdot 19)$$

ただし、 q_{sui} は粒径別浮遊砂の単位面積当たりの河床からの浮上量、 w_{fi} は粒径別浮遊砂の沈降速度であり、Rubeyの式で求める。

また、 $a' = B_{*i} / \tau_{*i}' - 1 / \eta_0$ 、 $\eta_0 = 0.5$ 、 $\alpha_* = 0.14$ 、 $K = 0.008$ 、 ρ_s は浮遊粒子の密度、 ρ は水の密度である。 B_{*i} は遮断効果を考慮して岸・黒木による式⁵⁾で求める。

$$B_{*i} = \xi_i B_{*0} \quad (2 \cdot 20)$$

$$\xi_i = \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*ci0}} \quad (2 \cdot 21)$$

ただし、

$$B_{*0} = 0.143, \quad \tau_{*ci} = u_{*ci}^2 / sgd_i, \quad \tau_{*ci0} = u_{*ci0}^2 / sgd_i \text{ である。}$$

粒径別浮遊砂濃度の連続式は次式で表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\langle c_i \rangle h) + \frac{1}{B} \frac{\partial (Q \langle c_i \rangle)}{\partial x} = q_{sui} - w_{fi} c_{bi} + \frac{qX \langle c_{xi} \rangle}{B} \quad (2 \cdot 22)$$

ここで、 t は時間、 c_{bi} は河床付近の粒径別浮遊砂濃度、 $\langle c_i \rangle$ は水深平均の粒径別浮遊砂濃度、 $\langle c_{xi} \rangle$ は支川等からの横流入浮遊砂量の粒径別水深平均濃度である。

2.4 応用計算事例

河床変動量で検証した本計算システムを用いて応用計算を行ってみる。図2・23は標津川下流部において、現河道形状を赤線で示すような蛇行流路に変えた場合の計算例である。図2・24に河口から海域に輸送される計算土砂量を示している。現況河道表示の土砂量は2000年の実測河床高で現在の河道形状で計算したものである。この時年次は1年目が1980年の流量のことであり。蛇行復元は赤線の蛇行流路としその区間の現在の流路は無いものと考えて計算したものである。2つを比較すると蛇行河川に戻すと河道内の掃流力が小さくなって輸送量が小さくなる。また22年後の河床高で

年水位を計算すると最大0.5mの水位上昇となる結果を得た(図2・25参照)。

次に1洪水での河床変動量及び輸送土砂量を現在の河道形状で計算する。洪水例は表2・3に示すとおりであり、また合流点観測所及び河口地点の流砂量は図2・26に示す通りであり、標津川では掃流砂量が多い。これは砂粒子の比重が2.44と小さいことがその原因の1つと考えられる。図2・27、2・28には合流点、河口地点の粒径別の土砂ハイドログラフを表しており、これらから洪水時のSSの質的検討が可能である。また図2・29は河口付近における測点毎の河床変動量の日時間変動を計算したものであって、最大洗掘は流量ピークより遅れて起る結果を表している。



図2・23 蛇行河道計算例

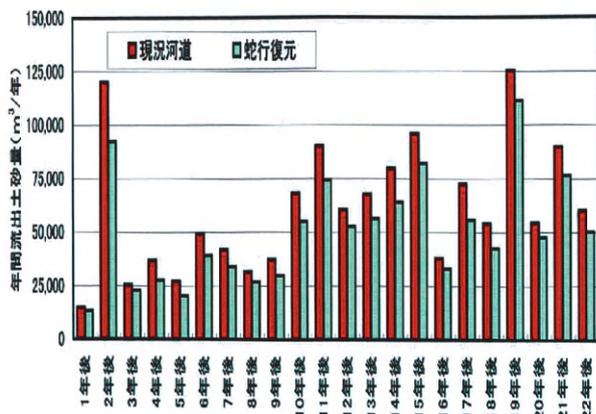


図2・24 現況河道と蛇行復元の計算による河口流出土砂量の比較

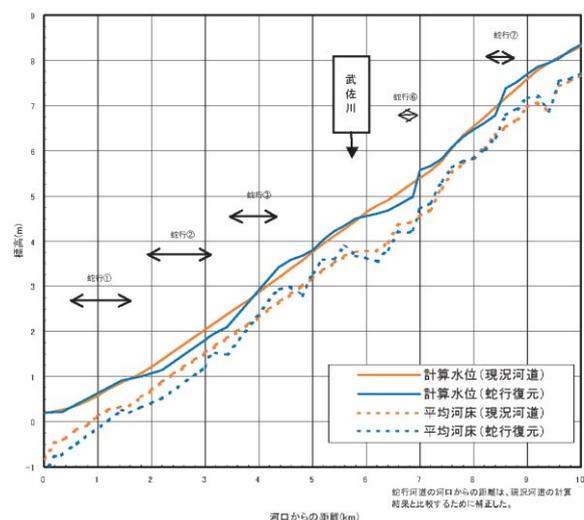


図2・25 年平均平水流量時の不等流計算水位の比較縦断面図

表 2・3 合流点及び河口を輸送される1洪水の総流砂量

洪水No. (月日)	総雨量 ΣR(mm)	ピーク流量 Qp(m³/s)	総流量 ΣQ (10⁶m³)	合流点を通過する流砂量			河口から流出する流砂量		
				掃流土砂量	浮遊土砂量	全流砂量 (m³)	掃流土砂量	浮遊土砂量	全流砂量 (m³)
No1(S54.10)	174.1	405.89	60.7	19,867	19,453	39,319	27,670	24,080	51,750
No2(S62.10)	144.0	390.85	36.6	9,507	9,355	18,862	15,730	12,600	28,330
No3(H3.8)	121.7	336.91	37.0	10,673	10,009	20,682	21,520	13,600	35,120
No4(H4.9)	162.7	343.94	53.4	15,613	15,116	30,728	21,700	18,420	40,120
No5(H10.9)	141.3	516.30	61.8	27,226	27,020	54,245	49,930	39,540	89,470

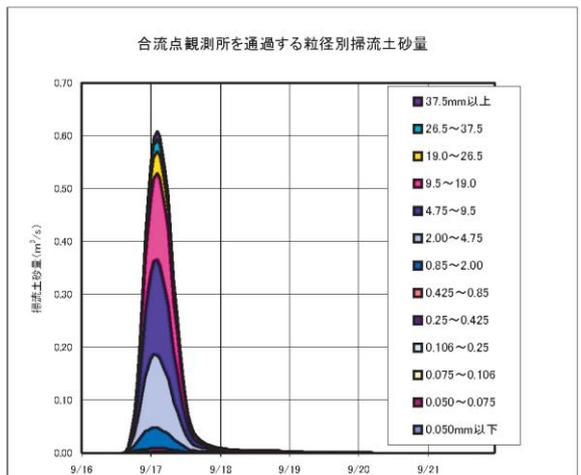
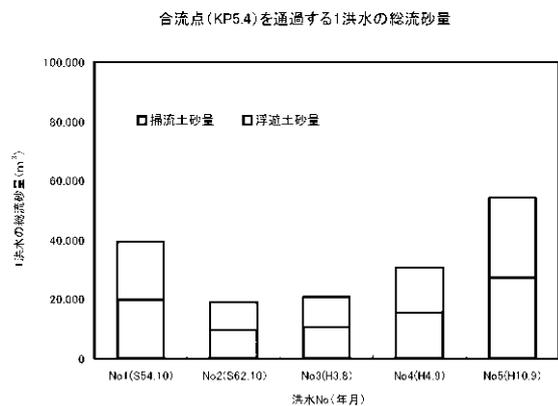
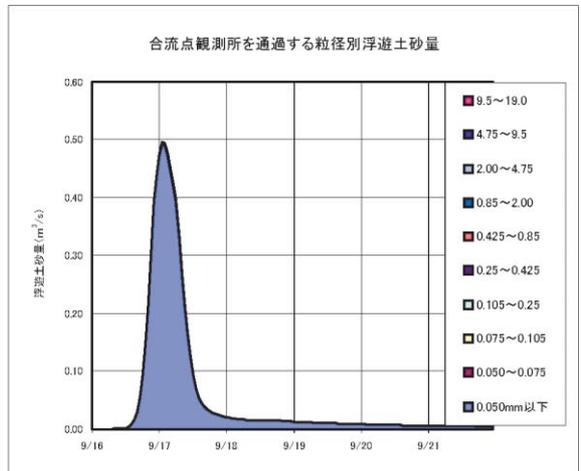
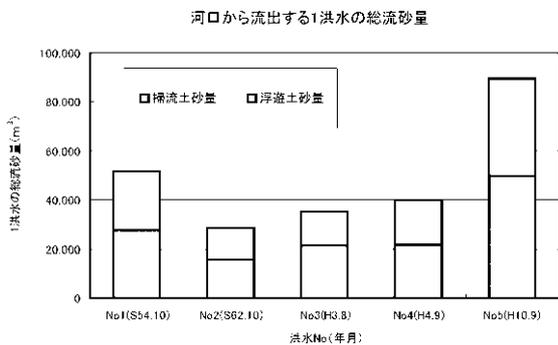
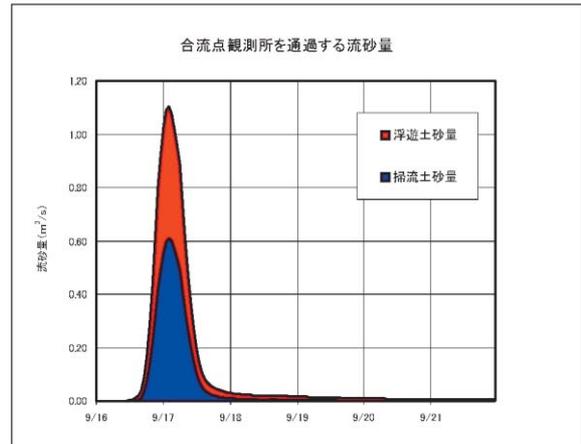


図 2・26 河口および合流点を輸送される1洪水の総流砂量

図 2・27 河床変動計算による合流点観測所を通過する粒径別流砂量 (H10.9.16洪水)

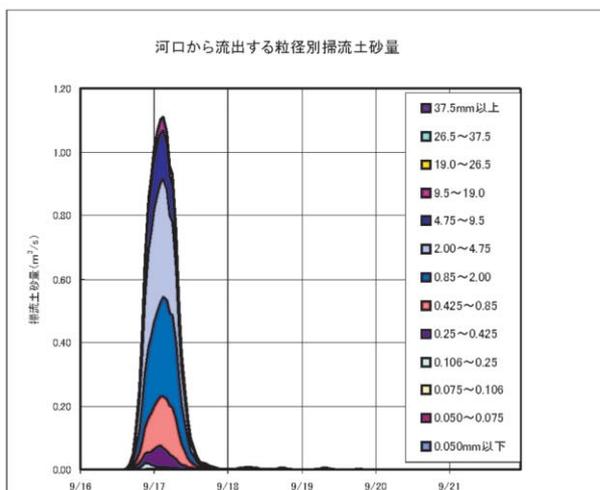
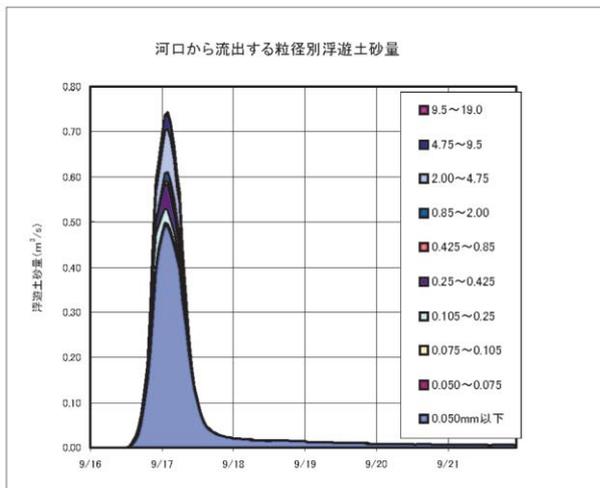
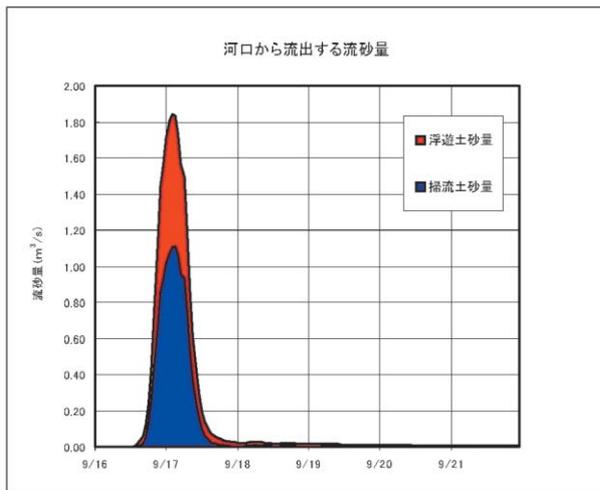


図2・28 河床変動計算による河口から流出する粒径別流砂量 (H10.9.16洪水)

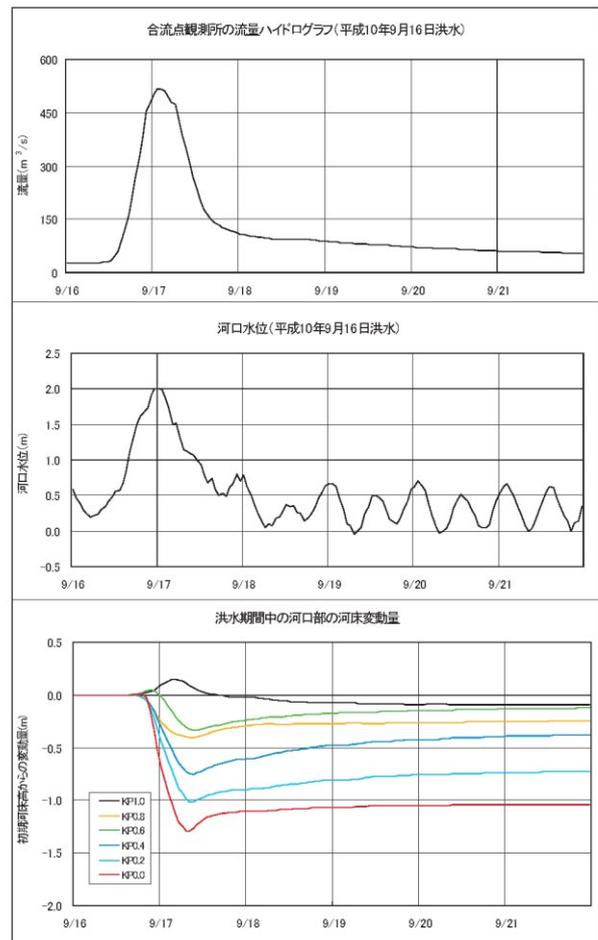


図2・29 既往最大洪水時における流量，河口水位，及び河口部の河床変動量

3. まとめ

本研究は標津川流域で起きている自然変動及び人為的行為の経緯とそれが雨水の流出，土砂の移動，河道形状の変化など河川の水理環境の変動に与えた結果を定量的に評価することに務めた研究成果である。標津川は自然再生事業のモデル河川であるので，今後はこれらの成果と水理環境と生態系の生息環境の関連性をさらに明らかにして，適切な自然再生事業の推進に反映させる考えである。

本研究は標津流域懇談会外検討業務及び（財）河川環境管理財団公益事業費に基づき実施したものであることを付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 釧路開発建設部 (2001): 標津川流域の土地利用変化, 調査資料
- 2) 釧路開発建設部 (2002): 近年の河川水質, 調査資料
- 3) 釧路開発建設部 (1959~1999): 標津川水文調査資料
- 4) 石城 謙吉 (2002): イワナの謎を追う, 岩波書店
- 5) 釧路開発建設部 (2000): 標津川の動植物調査
- 6) 北海道開発局 (1977~2000): 水辺の国勢調査
- 7) 嵯峨 浩 (2002.11): 二段タンク型貯留関数モデルの作成, (財) 河川環境管理財団
- 8) 山口 甲 (1990): 沖積河川における河道計画に関する研究, 北海道大学
- 9) 山口 甲 (1996): 山地河川の土砂生産に関する研究, 北海学園大学研究報告No.23
- 10) 岸 力, 黒木 幹男 (1986): 移動床における河床形状と流体抵抗 (1), 北海道大学工学部研究報告No67
- 11) 芦田 和男, 道上 正規 (1972): 移動床流れの抵抗と掃く流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告No206
- 12) 浅田 宏 (1976): 山地河川の流砂量と貯水池の堆砂過程に関する研究, 電力中央研究報告
- 13) 岩垣 雄一 (1956): 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集No41
- 14) Itakura T. and Kishi T (1980): Open channel flow with suspended sediments, proc.of ASCE HY 8
- 15) 沖 建, 黒木 幹男 (1985): 混合床上の浮遊砂量の算定式の検討, 土木学40周年講

Ⅲ 河道の質的安全性の評価に関する調査研究

4. 中小河川における大規模災害復旧計画の課題と対応

山本 晃一* 赤羽 忠志** 和田 健一***

1. はじめに

平成9年に河川法が改正され、災害復旧においても環境に配慮した災害復旧工事を行うことが基本となり、「美しい山河を守る災害復旧基本方針」（河川局防災課，海岸課，1999）等，基本的な考え方が整備されつつある。しかしながら，災害復旧は緊急を要するため，災害申請や復旧事業には時間的な制約や環境情報もないことから，環境に十分配慮した復旧計画を策定するための課題は多い。

大規模河川災害が生じ易い河川上流部の河道形態は，谷壁の地質・平面形態と河床・河岸に存在する露岩・巨礫などの地形・地質の影響を強く受けている。環境に配慮した復旧計画を策定するためには，短時間に河道特性・環境特性を把握して復旧計画や河道，河川構造物の設計に反映させることが求められる。また，河床・河岸の地盤条件が複雑に変化するため，環境面のみならず，施設の機能と安全性を確保する上でも，施工時に現場条件を再度把握し，その結果に応じて柔軟な設計変更を行う体制を確保する必要がある。

本報では，災害復旧計画を策定する上での課題について環境面を中心に整理するとともに，平成10年8月洪水で被害を受けた余笹川流域の踏査結果等に基づき，狭隘谷中小河川の河川特性（河道特性，環境特性）の特徴とその捉え方および設計変更を含む工事管理の必

要性，さらに工事後のモニタリングの必要性を提案する。

2. 災害復旧計画策定上の課題

災害復旧事業は，被災を受けた施設を復旧するための事業であることから，通常の河川改修事業とは実施の考え方や手続きが異なり，災害復旧計画を策定する上で種々の制約がある。その主な事項は，以下の2点と考えられる。

1) 時間的な制約

災害復旧事業は，被災の状況や被災原因により，災害復旧事業（原形復旧）と改良復旧事業に大別される。災害復旧事業の種類によって異なるが，被災から復旧工事実施までの間に，被害調査，被災原因の究明，復旧方針の設定，復旧計画（河道計画，施設計画）の策定，現地調査（査定），全体計画（整備計画）の策定及びこれに伴う関連機関との協議や用地の取得等を短期間に実施する必要がある。

図1・1に平成10年末豪雨で被災した余笹川における災害発生から改良復旧事業実施までの流れを示す。余笹川では，平成10年8月26日～8月31日にかけて災害が発生したが，11月30日～12月4日に行われた災害査定までの約3ヶ月の間に復旧計画と計画策定に必要

* (財)河川環境管理財団 研究総括職

** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第3部長

*** 応用地質(株) 技術本部環境技術センター (前，河川環境総合研究所 研究第3部 主任研究員)

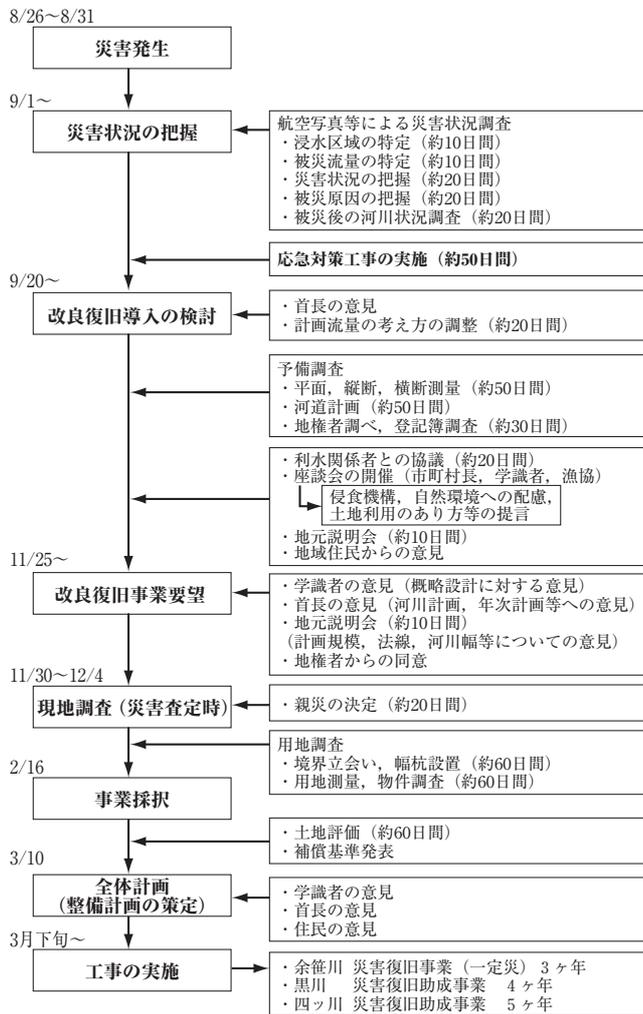


図1・1 災害復旧の流れ
(平成10年8月末豪雨余笹川流域災害復旧事業の例
(参考文献1)に基づき作成)

な調査・検討が行われている。

また、災害復旧工事は、余笹川3年、黒川4年、四ッ川5年で実施された。それぞれの河川の事業対象延長は、16.0km、28.9km、7.25kmである。

2) 復旧計画策定に必要な環境等の情報の不足

災害復旧に限らず、河川の改修計画による河道改変による環境の変化を検討する際には、河川特性と河川及び流域の環境特性、社会特性を把握し、環境の保全と整備の目標を設定し、河道改変等のインパクトに対する河道形態等の物理的応答とその上に乗る生態系の応答を評価することが必要となる。その上、災害復旧計画の策定にあたっては、被災状況、被災原因に関する情報も必要になる。

一般に、直轄管理河川では、河川水辺の国勢調査が行われ、河道の縦横断測量も定期的に行われている。一方、その上流部に位置する河川は、都道府県等が管理する場合はほとんどであり、近年に改修を行った場合や改修計画を策定中である場合を除けば、平面図や縦断面図・横断面図も整備されていない場合が多い。したがって、被災前の河道状況や河川環境を把握するための情報が限られている。

3. 狭隘谷を流れる河川の特徴

狭隘谷を流れる余笹川及び支川の黒川、四ッ川は、以下のような特徴を有している。

なお、平成10年8月末豪雨による被害の状況は、参考文献1), 2) 等に報告されている。

1) 自然が豊かであること

余笹川流域では、昭和13年8月の台風により大きな災害が発生し、災害防除工事として護岸工事(延長133m)が実施されたほか、昭和32年、昭和40年、昭和57年、昭和61年等に出水による被害が生じているものの、災害復旧事業や県単独事業による局部的かつ小規模な河川整備が実施されたに過ぎず、一定計画に基づく一連の河川改修は実施されてこなかった。

このため、平成10年洪水による被災前の余笹川の沿川は、水田等に利用されているものの、河畔には樹林が繁茂し、概して自然が豊かな状況であった。

このような場の災害復旧に際しては、被災前の自然環境を環境計画の指標とするのが一般的である。いずれにしろ、被災前の生物環境に関する情報を収集し、環境特性を整理する必要があるが、定量的な情報はほとんど記録されていない場合が多い。

2) 地形・地質が複雑

余笹川は、那須火山の朝日岳に源を発し、那須火山麓、高久丘陵を開析して流下し、那珂川に合流している。黒川(余笹川左支川)は、高久丘陵を開析して流

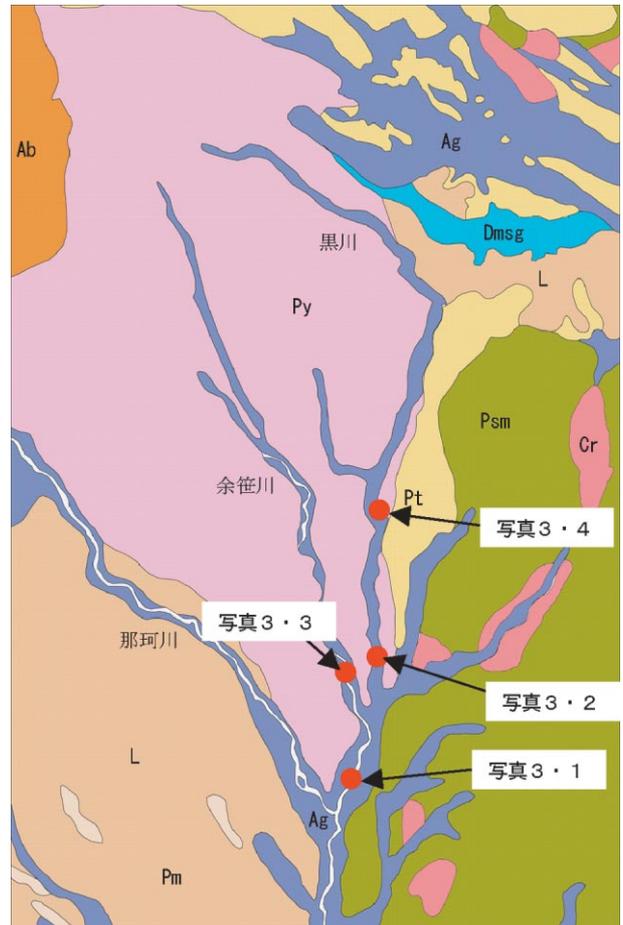
下し、余笹川合流点から18km地点より下流は、高久丘陵と八溝山地の境界を流下している。また、余笹川、黒川沿いには、3～4段の河岸段丘が形成されている。沖積谷の幅は、余笹川が200～800m、黒川が100～400mで、周囲の山地、丘陵の山脚が近接している。

余笹川流域の河床、河岸の地質は、上記の地形を反映して、複雑に変化している。図3・1に余笹川流域の表層地質図を示す。

黒川の東側に分布する八溝山地の地質は、古生代に堆積した砂岩と粘板岩の互層を主体とし、所々で花崗岩の貫入が見られる。その西側に広がる高久丘陵は、火山碎屑物（那須火山を起源とする火山角礫岩、火山泥流（古期泥流、新期泥流））とその上に堆積する火山灰層（関東ローム層）からなる。これらの下位には、丘陵地のほぼ全域にわたって溶結凝灰岩（白河デイサイト）が分布している。さらに、段丘部分には、上流域や周辺の山地、丘陵から供給された砂礫が堆積している。余笹川と黒川は近接した河川であり、黒川は余笹川の支川であるが、河床・河岸の地質は異なっている。

扇状地より下流の河川では、河床、河岸の構成材料が一般に未固結の堆積物（砂礫、砂、シルトなど）で構成されているため、河床材料の粒径と流量、勾配が河道の形状を規定する重要なファクターになる。これに対して、狭隘谷を流れる河川では、河床や河岸に分布する地質の侵食抵抗が大きく異なり、その差が河道形状（縦断形状、平面形状）を規定する重要な要因になっている。したがって、図3・1に示すような広域の地質構造を把握するとともに、小セグメントに河道を区分し、リーチスケール（蛇行、砂州のスケール）で地質構造を確認する必要がある。特に、河道が沖積谷壁に沿って流れている区間においては、河岸・河床の侵食抵抗を把握するために岩質を同定しておく必要がある。

余笹川流域では、隣接する余笹川、黒川、四ッ川においても河床や河岸を構成する地質の差で特徴的な河川地形を形成している。その例を写真3・1～写真



	記号	地質	
未固結堆積物	Ag	砂礫	沖積世
半固結堆積物	Dmsg	礫・砂・泥	洪積世
	Psm	砂岩・粘板岩互層	古生代
火山性岩石	Py	火山碎屑物	洪積世
	Pm	軽石凝灰岩	
	L	ローム	
	Ab	安山岩	
	Pt	溶結凝灰岩	中新世
深成岩	Cr	花崗岩	中生代

図3・1 余笹川流域の表層地質図
(参考文献3, 4)に基づき作成)

3・4に示す。

写真3・1に示すような硬い岩盤からなる部分は、平面形のコントロールポイントになっている場合が多く、湾曲部には深い淵が形成されている。また、この地方特有の溶結凝灰岩の分布する箇所は、礫の移動による磨耗の影響を受けて河床に溝状の侵食痕を形成し、特徴的な河床の形状を形づくっている。

火山碎屑物のうち、古期泥流は固結度が高く、平成10年8月末豪雨でも著しい侵食は受けていない。これ



写真3・1 花崗岩の河岸（余笹川1.6km付近）



写真3・3 古期泥流（火山碎屑物）の河岸（余笹川5.0km付近）



写真3・2 溶結凝灰岩の河床（黒川2.4km付近）



写真3・4 新期泥流（火山碎屑物）の河岸（黒川9.0km付近）

に対して、固結度があまり高くない新期泥流からなる河岸や沖積段丘に位置する河岸は横侵食を受けて崩壊するとともに、土砂の供給源になっている。新期泥流には直径1 mを越える巨石も多数含まれており、現河床を構成する大礫は上流から運搬されたと考えより、過去の火山活動に伴って堆積した火砕流・泥流中に含まれていたものが、河岸の侵食により河道内に転げ落ちたと考える方が妥当である。

以上のように本検討で対象とした狭隘谷を流れる河川は、地形・地質を反映した河道形状を呈している。その特徴を再整理すると以下ようになる。

①地形・地質複雑であるため、隣接する河川、合流する河川で河道特性が異なる。

- ②山脚が近接し、沖積谷幅が狭く、河床・河岸に岩盤が露出する部分が多い。
- ③沖積層（未固結の河床材料）は、層厚が薄い場合が多い。
- ④河床や河岸の地質により侵食抵抗が大きく異なる。
- ⑤大洪水時には、河岸の側方侵食および氾濫原侵食により土砂が供給される。また、大規模な洪水により、河岸が侵食される場合には、大量の流木が供給される。
- ⑥河床勾配が大きく、掃流力が大きい。
- ⑦河床の大礫は、上流から運搬されたと考えより、河岸を構成する泥流に含まれていたものが侵食を受けて河道内に転げ落ちたと推定される。

4. 河川特性、環境特性の捉え方

現存する河川生態系は、物理・化学系、生物系、人間系の3つの系の統合体とみなされる。3つの系は独立な系ではなく、相互依存系であるが、一般に生物系は他の2つの系の従属系とみなされる⁵⁾。

すなわち、災害復旧に限らず、河川へのインパクトに対する河川環境の変化を予測・評価するためには、物理・化学環境、生物環境、社会環境に関する情報が必要になり、河道特性・環境特性図集として編集することが必要である(環境特性の編集方法として文献6)に記された河川環境情報図が参考になる)。

低平地の大河川では、大セグメントごとに河道形状とこれに依存する河川環境が規定される場合が多い。しかしながら、狭隘谷河川では、前述のように、河床、河岸の地形・地質によって河道の形態が規定されることから、小セグメント区分により河川を区分し、その特性を把握した上で、リーチサイズを基本とした情報の収集、編集が必要である。

このスケールでの調査を行うためには、膨大な費用と時間を要する。平常時の維持管理の中でデータを蓄積しデータベースを構築することが望ましいが、現実には予算措置を含めて課題が多い。

自然が残されている狭隘谷河川において、環境を考慮した改修(復旧)計画を策定する場合には、治水・利水上の機能を確保した上で自然の環境を極力改變しないことが基本となると考えられる。したがって、既存資料、現地踏査資料、空中写真等の情報に基づいて、流域の概況を把握し、これに基づく基本方針を立案し、災害復旧工事に向けた施設の設計を行うとともに、復旧工事の実施段階においても詳細に現場の河道および環境情報を再確認する必要がある。そして、その情報に基づき、河川環境の保全や護岸等の河川構造物の安全性などを確認し、必要に応じて柔軟な設計変更を行いながら、工事を進めることが必要と考える。このためには、工事の管理体制、設計変更の制度の見直しが必要であり、その方法のイメージを5章で提案する。

なお、自然環境の保全に配慮した災害復旧を実施するには、事前に河道特性・環境特性を把握しておく必要がある。このため、従来に比べて手間と時間がかからざるを得ないことから、各都道府県は、それぞれの地域固有の条件等を考慮の上、独自の「美しい山河を守る災害復旧事業実施方針」を事前に策定するものとしている。この実施方針を策定する場合においても、狭隘谷を流れる河川においては、上記の特性を十分考慮した内容とする必要がある。

余笹川の災害復旧においては、河川環境に配慮した復旧計画・工事とするため、表4・1に示す流域の河川環境特性情報を収集し、河川環境特性図を作成している。前述のとおり、被災前には定期的な測量や生物調査がほとんど行われていなかったことから、空中写真や既存の地質図、土地利用図等を用いて河道特性、自然環境特性の概況を把握し、現地踏査により確認した。

表4・1 余笹川流域の災害復旧計画において収集した河川環境情報等

物理環境	地形(山地、丘陵、段丘、沖積低地等の区分) 地質(河床・河岸の地質(踏査による)) 河川形状(河床勾配、川幅、背後地の地盤高、砂州の分布)
生物環境	植物(広葉樹林、針葉樹林、竹林等の区分) 魚類(生息が確認されている魚種)
社会環境	土地利用(集落、樹林地、水田・畑等の区分)

5. 工事管理および設計変更による対応の必要性

平成9年洪水により被災した宮崎県の五ヶ瀬川水系北川においては、北川「川づくり」検討委員会を組織して所要の治水安全の確保と良好な河川環境の保全・復元方法を検討し、改修計画案を策定している⁷⁾。しかしながら、広範囲で被災した多くの中小河川では、災害復旧に伴う施設設計を確定する段階で河床・河岸の地質を確認することは困難である。このため、空中写真等により被災前の河川形状、河川環境と周辺環境に関する情報等を収集し、復旧方針に基づき環境に配

慮した設計を行うとともに、復旧工事と並行して現地の河道・地質・環境状況に応じて変更を行いながら、より環境に配慮した川づくりを進めるのが現実的な方法であると考えられる。

1) 複数の専門家を含むチームによる事業の実施の必要性

自然環境の保全・整備を織り込んだ河道計画を立案するためには、水理学、河川工学の技術者のみで対応することは困難であり、生物学、地形学、地質学などの自然環境に関連する分野の技術者や問題に応じて社会学、景観工学、化学（水質）などの複数の専門化が一体となったチームを組織して取組む必要がある。現状では委員会形式で知見の集約と計画策定がなされる場合が多い。

中小河川の災害復旧にあたっては、計画段階において河川工学、地形・地質学、生物学（魚類・底生動物、植物）の専門家を含むチームを構成し、基本検討の結果に基づき、現地での確認、協議に基づいて最終形を決定する必要があると考えられる。しかしながら、現実には河道計画、構造物設計、河川環境計画は別々のコンサルタントに発注され、その統合化は県の技術者に担われている。県の技術者をサポートする技術集団のチーム（コンサルタント）を形成し、プロジェクトマネージ（PM）的業務を担わせるべきである。

また、復旧の基本となり、水系としての整合性を図るべき計画流量、平面形（法線）、縦断形（床止め工の位置・高さ等）などは基本計画の中で決定すべきであるが、護岸の構造・設置範囲、寄石や根固めの要否・構造等は、現地において工事段階に最終形を決定すべき事項であり、臨機応変に意思決定していくPM集団を現場に配置しておくべきと考える。数100億円に達する大規模災害復旧においては、このような組織集団を活用していくことも必要であろう。

スイス・チューリッヒ州やドイツ・バイエルン州の河川改修では、少なくとも、土木工学、景観工学、生態学の3名の技術者が参加するプロジェクトチームを編成して取組んでいる⁸⁾。さらに、プロジェクトの規

模や場所、問題の種類によって、複数の専門家や地質学、化学（水質）、建築、歴史学、社会学、心理学、法律（土地買収、取用問題）などの専門家が参加する場合がある。これらのプロジェクトチームでビジョンの作成、コンセプトの設定、設計、施工監理、施工後の評価までの一連の事業を推進している。我が国においても新たな社会に対応していくために今後必要となってくる。

2) 柔軟な設計変更と契約方式の必要性

上述の方法を実施するためには、計画立案、工事管理の方法と契約方式を工夫する必要がある。

通常の工事管理では、仕様に定めた出来形と品質を確認する方法が取られるが、災害復旧に限らず、河川環境に配慮した河川改修を行うためには、プロジェクトチームが現場に常駐し、河川管理者、施工業者を含めた協議の決定事項に基づいて、柔軟に設計変更が可能な契約システムを整備する必要がある。

スイスやドイツにおいては、設計や施工の契約は、文書で大まかな取り決め（概算数量による発注、または施工条件）をし、細部はプロジェクト進行過程に度々行われるミーティングで決定し、変更される。支払いは、工事日数、作業員人数、使用機械、使用材料、運搬量、難易度などにより、見積りにより契約を交わすか、事前に概算し後から出来高払いの形で行われている。

6. 工事後のモニタリングの必要性

環境に配慮した災害復旧を行うためには、復旧計画・工事中の各段階、復旧工事によるインパクトに対して河川生態系等の河川環境へのレスポンスを予測する必要がある。その予測手法は種々の研究（たとえば、文献5))が進んでいるが、確立されたものとはなっていない。

自然再生等の事業においては、順応的管理（アダプティブマネジメント）の考え方が導入されつつあるが、

災害復旧事業においては事業期間に制約があるため、復旧後の物理・化学的な環境、生態系の変化をモニタリングし、その情報と得られた知見を今後の復旧計画に役立てることが必要である。したがって、大規模な災害復旧においては、河道形態がほぼ動的な平衡状態に達し、一定の生態系が形成されるまでの期間（少なくとも10年程度）のモニタリングを継続し、物理環境・生物環境の情報を収集・分析・評価することが重要である。

現状、災害復旧事業の竣工後は、予算的な制約により、十分な調査を行うことが難しい状況であるが、制度化を含めて考える必要があるものとする。

モニタリングの目的が明確であれば、定点からの定期的な写真撮影と踏査のみでも十分に有意な情報を得ることができる。当財団においては、余笹川・黒川等において、自主研究として工事後の河道形態と環境の変化を見守っている。

7. おわりに

本稿では、中小河川の特徴と災害復旧における課題を整理し、環境に配慮した災害復旧を実施するためには、河川工学、地形・地質学、生物学を含む複数の専門家からなるプロジェクトチームによる取組みの必要性を提案した。

特に、山地を流れる中小河川においては、沖積谷の谷壁の地質・平面形態、河床・河岸の土質・地質が、河川生態系の基盤となる河道形態を規定する重要な要因のひとつになっている。これらの情報は、計画段階で詳細に把握することが困難であることから、復旧工事と並行して再度確認し、柔軟な設計変更を行うことが必要である。

このためには、河川環境保全の目標の設定方法、計画策定における意思決定システム、工事段階での仕様の確定と設計変更を考慮した契約方法などとあわせて、災害復旧事業の進め方を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 栃木県余笹川流域河川改修事務所（2003）：安全で緑豊かな川を目指して～平成10年8月末豪雨 余笹川流域河川災害復旧事業の記録～，pp.128-130
- 2) 伊藤和典ほか（2000）：平成10年8月末の那須出水による余笹川の流路変化の特性，水工学論文集，第44巻
- 3) 国土庁土地局国土調査課（1996）：土地分類図（栃木県），昭和49年（復刻版），（財）日本地図センター
- 4) 国土庁土地局国土調査課（2001）：土地分類図（福島県），昭和49年（復刻版），（財）日本地図センター
- 5) （財）河川環境管理財団（2002）：河川整備基金事業自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系の関係に関する研究，pp. 3-4
- 6) （財）リバーフロント整備センター（1999）：河川環境表現の手引き（案）
- 7) 池内幸司（1999）：北川激特事業における良好な河川環境の保全・復元を目指した川づくり，河川（通巻641号），（社）日本河川協会
- 8) 山脇正俊（2000）：近自然工学～新しい川・道・まちづくり～，信山社サイテック，pp.79-80

5. 河川の土砂環境の健全化をめざした対応について

山本 晃一* 赤羽 忠志** 渡口 正史***

1. はじめに

わが国の国土は環太平洋造山帯に位置し、その成因から地質が脆弱で地形も急峻であるため山地の侵食が生じやすい。山地部で生産された土砂は河川をとおして下流に運ばれ、谷の出口で礫主体の扇状地を、さらに下流に移動すると砂・泥主体の沖積平野を形成し海に至っている。この土砂は、海域では沿岸域に堆積したり、また漂砂となって移動し、海岸地形を形成している。

戦後の経済成長は、土砂移動に対して大規模な人為的インパクトを加えた。土砂災害防御のための砂防ダムの建設や植林事業による荒地の減少、水資源開発や洪水防御のための大規模なダム貯水池の建設、洪水流下能力増大のための掘削や建設資材利用のための河道の砂利採取などである。これにより、河川への土砂供給の減少がはじまり現在に至っている。

土砂問題への対応は、これまで、砂防、ダム、河川、海岸といった事業区分に応じ、それぞれの保有する技術で対処してきたが、個々の対応は他の事業領域に影響を与えないので、流域の源頭部から海岸までの土砂の動きを流砂系としてとらえ、全体として最も適切な対応をとる、いわゆる総合土砂管理体制の確立が求められている。

本研究の対象とした河川は、戦前、活発な土砂移動により、たえず河川、河口、周辺海岸地形を変化させてきた。

しかし、戦後の砂防・ダム・堰の建設、砂利採取などにより河川の土砂移動が減少し、河川環境の変化や

海岸砂浜の消失など様々な課題が顕在化してきた。

本報告は少ない流域・河川情報という制約の中で、流砂系の視点から土砂環境の課題を分析し、土砂環境の健全化をめざした対応について相模川を事例として検討したものである。

2. 河川の概要

相模川は富士山麓の山中湖に水源を発し、山梨県内を流下し、神奈川県にはいりダム湖の相模湖、津久井湖を経て流路を南に転じ、右支川中津川などの支川を合わせて相模湾に注ぐ流域面積1,680km²、幹川流路延長109kmの一級河川である。

相模川流域の土砂は最上流部の山中湖（流域面積54.7km²）と河口湖（流域面積126.4km²）で捕捉後、両湖の下流部から河川への流出がはじまる。北の御坂山地、秩父山地と南の丹沢山地から流出した土砂は本川の相模ダム、沼本ダム、城山ダムや右支川道志川の道志ダムで捕捉されながら深い溪谷を流下する。城山ダム下流の土砂は途中の固定堰や床止めや右支川中津川の宮ヶ瀬ダムによる捕捉を受けつつ、徐々に河床勾配を緩めながら流下し、河口に達する。（図2・1参照）

地質は、本川のダム域の左岸は玄武岩質溶岩や泥岩・千枚岩などの中生代～古第三紀堆積岩で構成され、土砂の崩壊は比較的少ない。一方、右岸や支川中津川流域は凝灰岩・凝灰角礫岩など新第三紀の火成岩で、

* (財)河川環境管理財団 研究総括職

** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第3部長

*** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第3部 主任研究員



図2・1 相模川流域概要図

表層はローム層で覆われており、土砂の崩壊は比較的多い。また、城山ダムから下流の平野部は第四紀更新世の段丘堆積物・沖積層となっている。

3. 河川と人との関わり

相模川の下流域は、明治時代は葉タバコを中心とした農業地域であったが、大正時代になると紡績をはじめとした工業が興り、以後京浜地区に連なる工業地域として発達し、それに伴い、河川水の利用、電力利用が増加した。

相模川は、以下のように地域生活と密接な結びつきがあり、土砂問題への対応を考える場合は地域社会への影響に充分配慮する必要がある。

○地域の発展

- ・流域の製造品出荷額は昭和41年に比べ昭和60年に約12倍の約7.5兆円に達し、現在は横ばいで推移。
- ・流域関連市町村人口は昭和35年に比べ平成12年は約3.3倍の240万人に増加。

○水利用

- ・生活用水は神奈川県全体の約60%（約510万人相当）を、工業用水は約75%を、農地かんがい区域の約30%を相模川に依存。

○防災

- ・土砂災害防止のため、戦後～現在にかけて400を超

える砂防堰堤を建設。

- ・洪水調節のため、城山ダム、宮ヶ瀬ダムを建設。

○砂利採取

- ・戦後～昭和37年に相模ダム下流の河道域から多量（約2,200万 m^3 ）の砂利採取を実施したが、その後は禁止。

○特徴的な環境

- ・アユが多い。（昔は「鮎河」と呼ばれ、現在の河川別漁獲高は全国第3位）
- ・カワラノギク等河原系植物が生育。（近年、礫河原が減少）
- ・河口砂州の河道内の干潟。（シギ・チドリなど鳥類の重要な生息場であるが、近年、干潟面積及び生息鳥類が減少）

4. 土砂環境の課題の把握

4.1 流砂系に働きかけた行為と想定される課題の関連性

図4・1は河道、海浜の変化、河道内の植生状況の変化などを航空写真等の既存資料により分析し、相模川流砂系の土砂移動に変化を及ぼす行為と土砂動態の変化、派生する現象、想定される課題の関連性を、縦軸に土砂の上流から下流への空間移動変化を、横軸に課題が生じるまでの時間的変化をイメージし整理したものである。

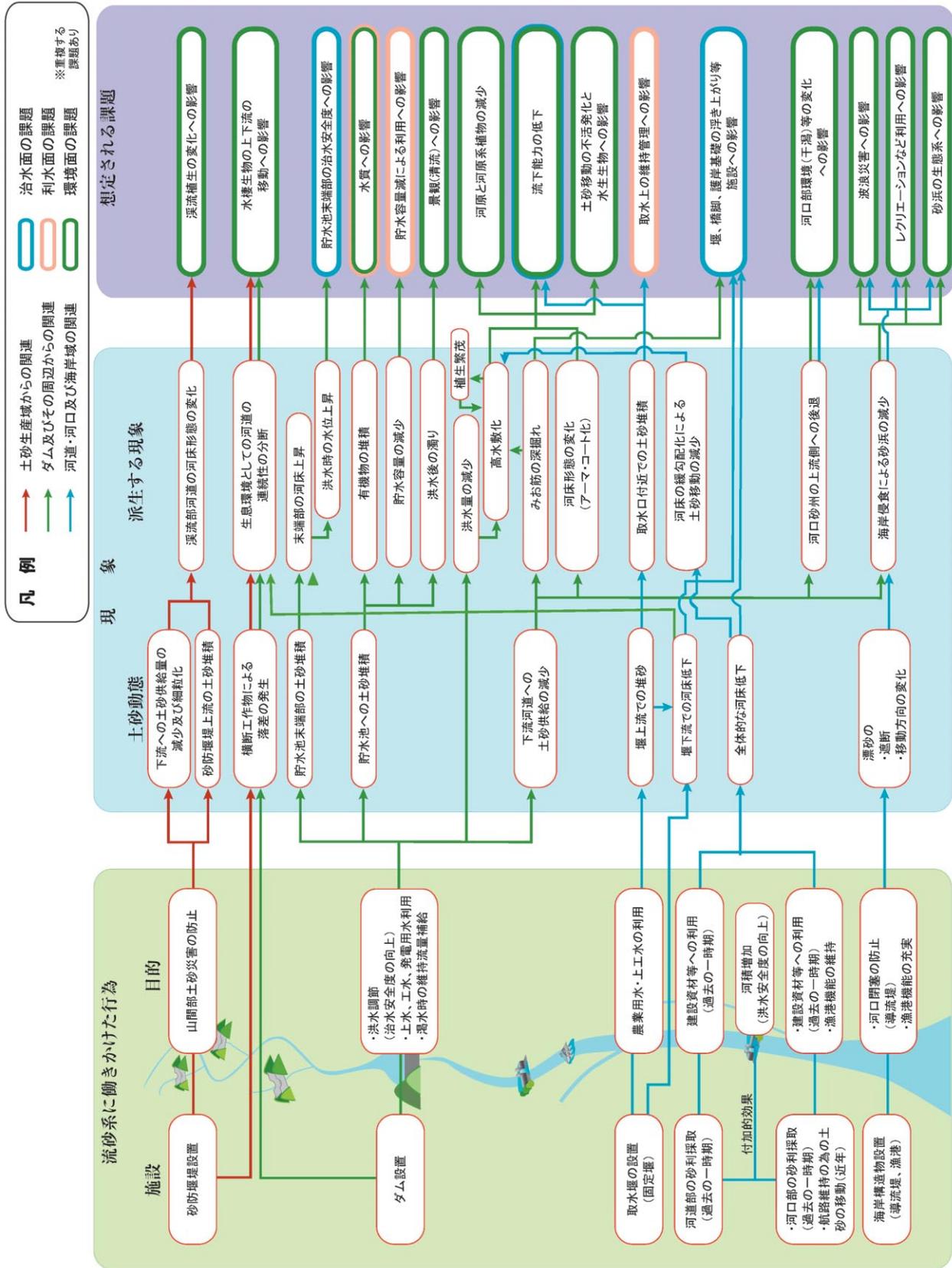


図4・1 流砂系に働きかけた行為と想定される課題の関連性

4.2 相模川で顕在化している課題

1) ダム域

昭和22年に完成し、平成11年で54年を経過した相模ダムの堆砂量の変化を図4・2に示す。

このダムでは、年平均約43万 m^3 の土砂が堆積し、築造12年目の昭和35年には堆砂量が計画を超え、平成11年には計画の約5倍に相当する1,860万 m^3 にの土砂が堆積し、利用容量が約8%減少している。

また、貯水池流入末端部の上野原町では、土砂堆積による洪水時の水位上昇が懸念されている。

これへの対応としては、昭和35年よりダム貯水池流入部を主に浚渫を実施し、近年は年間25～30万 m^3 を浚渫し、これまでの浚渫総量は510万 m^3 に達する。

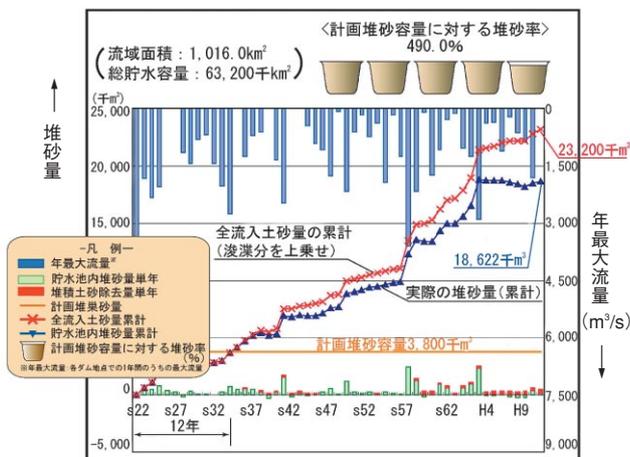


図4・2 相模ダムの堆砂状況

2) 河道域

城山ダムから河口にかけての河道域の地形や生態系は元来、上流域からの土砂供給を受けながら洪水時に主に移動する土砂基盤のうえに成り立っていた。

しかし、ダム建設など上流からの土砂供給の減少より、城山ダム～昭和橋（24.0k付近）では、図4・3、写真4・1に示すような河床の粗粒化（アーマコート化）の進行が見られ、魚等水生生物の生息場としての瀬・淵環境が劣化しつつある。

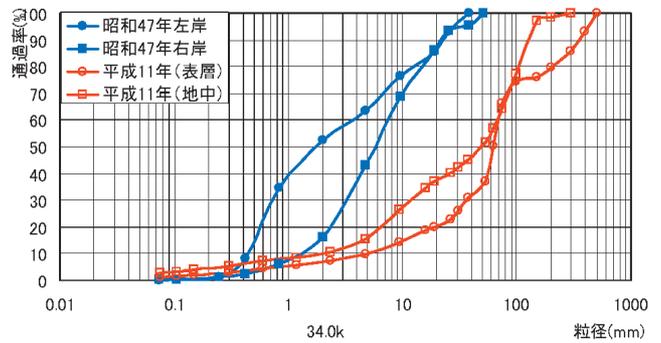


図4・3 相模川34.0km付近の粒度分布の変化



写真4・1 相模川34.0km付近の河原の様子

また、土砂供給の減少、砂利採取による固定堰の浮き上がりともお筋の河床低下により、従来河原であった区域への洪水冠水頻度が減少し、相模川を特徴づける礫河原域が減少した。

礫河原は、貧栄養で乾燥し、定期的に洪水による攪乱をうけるという厳しい環境下にあり、これを利用した河原特有の植物群落が生育していた。

相模川の礫河原域は図4・4に示すように、昭和29年当時を100%とした場合現在は30～40%まで減少してきている。

河原域の減少とともに、河原特有の植物群落の衰退傾向がみられ、これを代表するカワラノギクは現在絶滅に近い状況にある。このため、カワラノギクに関しては現在、市民を中心に保全活動がおこなわれている。

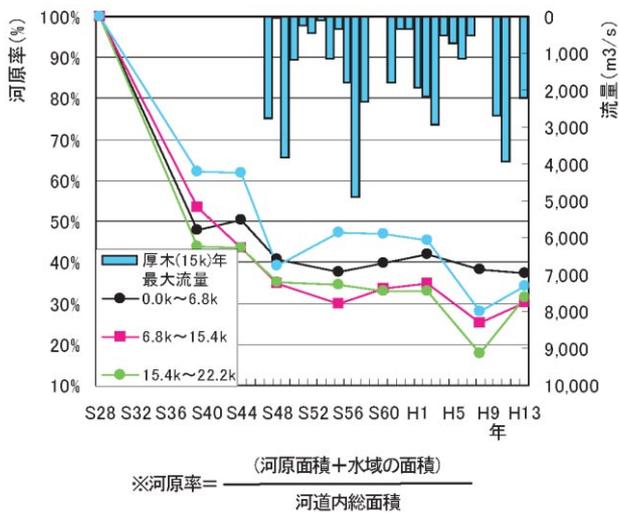


図4・4 相模川（城山ダム～河口）の河原率の変化

3) 河口域

図4・5に示すとおり、相模川河口域では土砂供給の減少などにより、河口砂州の河道内への後退が昭和60年頃から顕在化し、河口砂州干潟の規模が小さくなりつつある。このため、シギ・チドリなど鳥類の生息場として相模湾有数の干潟面積が減少しつつある。

4) 周辺海岸域

相模川河口左岸側の茅ヶ崎海岸（柳島地区）では、図4・5、4・6に示すとおり昭和55年頃まで約60m程度の海岸砂浜があったが平成2年にはほとんど消失した。

このため、波浪災害による護岸崩壊やレクリエーション等の海岸利用への影響が課題となっている。

これへの対応として、柳島地区では、平成2年度以降、人工リーフ等構造物の築造や養浜が実施されている。

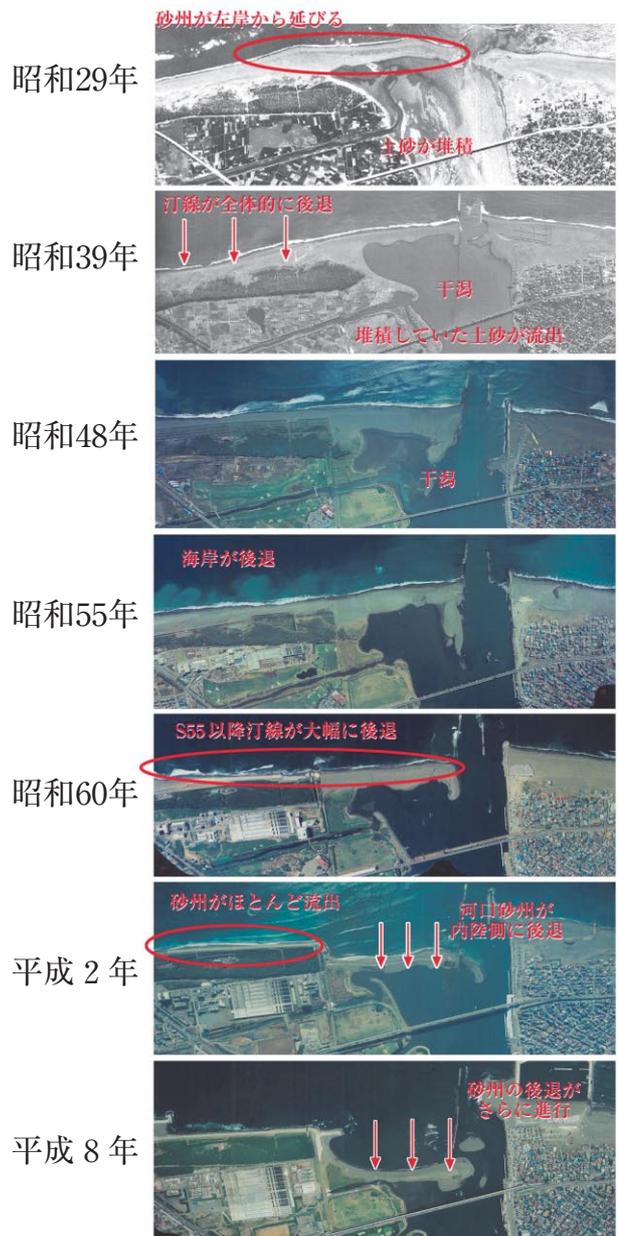


図4・5 相模川河口域及び周辺海岸域の地形変化

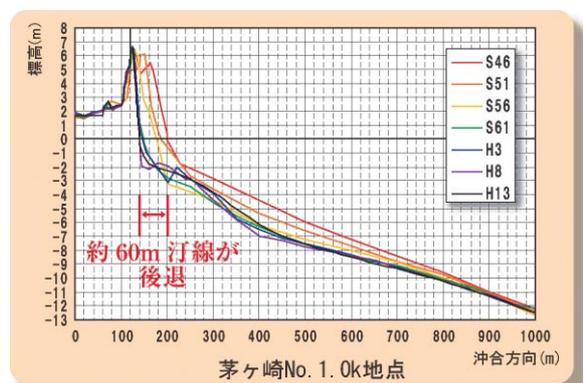


図4・6 相模川河口から左岸500mの海岸地形の変化

5. 河道部における土砂移動実態

5.1 流砂系の土砂移動の概念

図5・1に示すとおり，土砂は河道の勾配，河川水量と土砂の粒径ごとに移動範囲と移動速度が異なる。このため，相模川で生じている土砂問題への対応を考える場合には，課題が生じている領域（評価地点）の土砂組成（有効粒径集団）について土砂動態の把握が必要である。

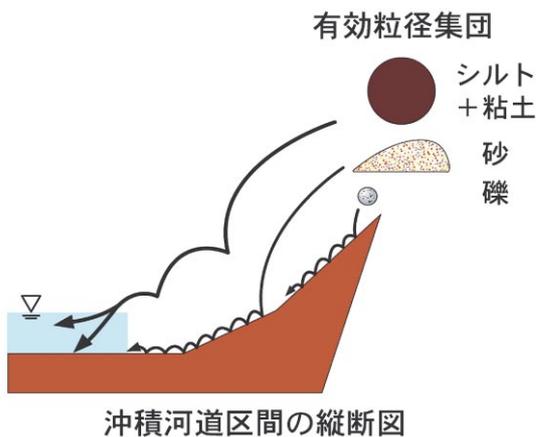


図5・1 土砂移動の概念図

5.2 相模川における土砂移動の評価

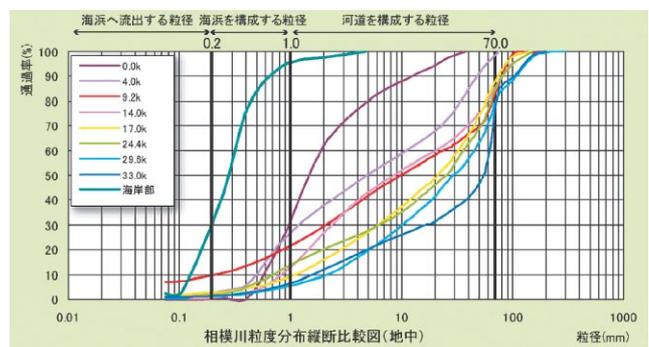
相模川における年間土砂移動量を表5・1の手順で推定し，有効粒径集団別に土砂移動に対して人為的インパクトが加わる以前（昭和20年代以前）から現在にかけての変化を土砂動態マップとして示したのが図5・3であり，以下に相模川で生じた土砂移動の変化を概説する。

1) 河道域での土砂移動変化

河道域を主に構成する砂利・砂成分（粒径1~70mm）の土砂は，ダムや堰など人為的インパクトが加わっていない時代には約14万m³/年がダムから供給され河道に堆積しながら約3万m³/年が河口に達していたもの

表5・1 土砂動態マップの作成手順

作成手順	作成方法
①評価地点の設定	・課題発生地点の分布から，マップの作成は相模ダム～河口を対象とする。 ・評価地点は土砂動態の変化地点（ダム・堰、支川合流点），懸案課題の評価地点（河口）で設定。
②有効粒径集団の設定	・課題が生じているダム域，河道域，海岸域の実績土砂組成より設定。（図5・2参照）
③ダム流入，流出土砂量の設定	・各ダムの年平均実績堆砂量から生産土砂量を推定し，吉良の公式で算定した土砂の捕捉率をもとに推定。
④ダム流入土砂量の有効粒径集団への配分	・相模ダム貯水池の既存ボーリングデータから有効粒径集団の構成比を推定。（図5・2参照）
⑤土砂移動の範囲の設定	・既往の平均年最大流量～最大流量の代表流量規模で土砂移動区間の代表断面の無次元掃流力を計算し，有効粒径集団別に土砂の移動範囲をあらかじめ推定。 （無次元掃流力が0.03以上で土砂が移動すると仮定）
⑥評価地点毎の土砂移動量の推定	○検討時点の河道横断測量なしの場合 ・ダム流出土砂量が移動可能な範囲まで下流へ移動するものとし，移動量は評価地点の流砂量計算値（芦田・道上式による）を上限として設定。 ○検討時点の河道横断測量ありの場合 ・横断測量成果をもとに，評価区間毎の土砂収支量を計算し，下流への移動量を推定。



- ・河道域を主に構成する粒径（1~70mm）…約20%
- ・海岸を主に構成する粒径（0.2~1mm）…約20%
- ・海域へ流出する粒径（0.2mm未満）……約60%

図5・2 河道及び海岸域の土砂粒度分布

○土砂動態マップの作成例

※図中の数字は年間移動量

※ 通過前
通過後

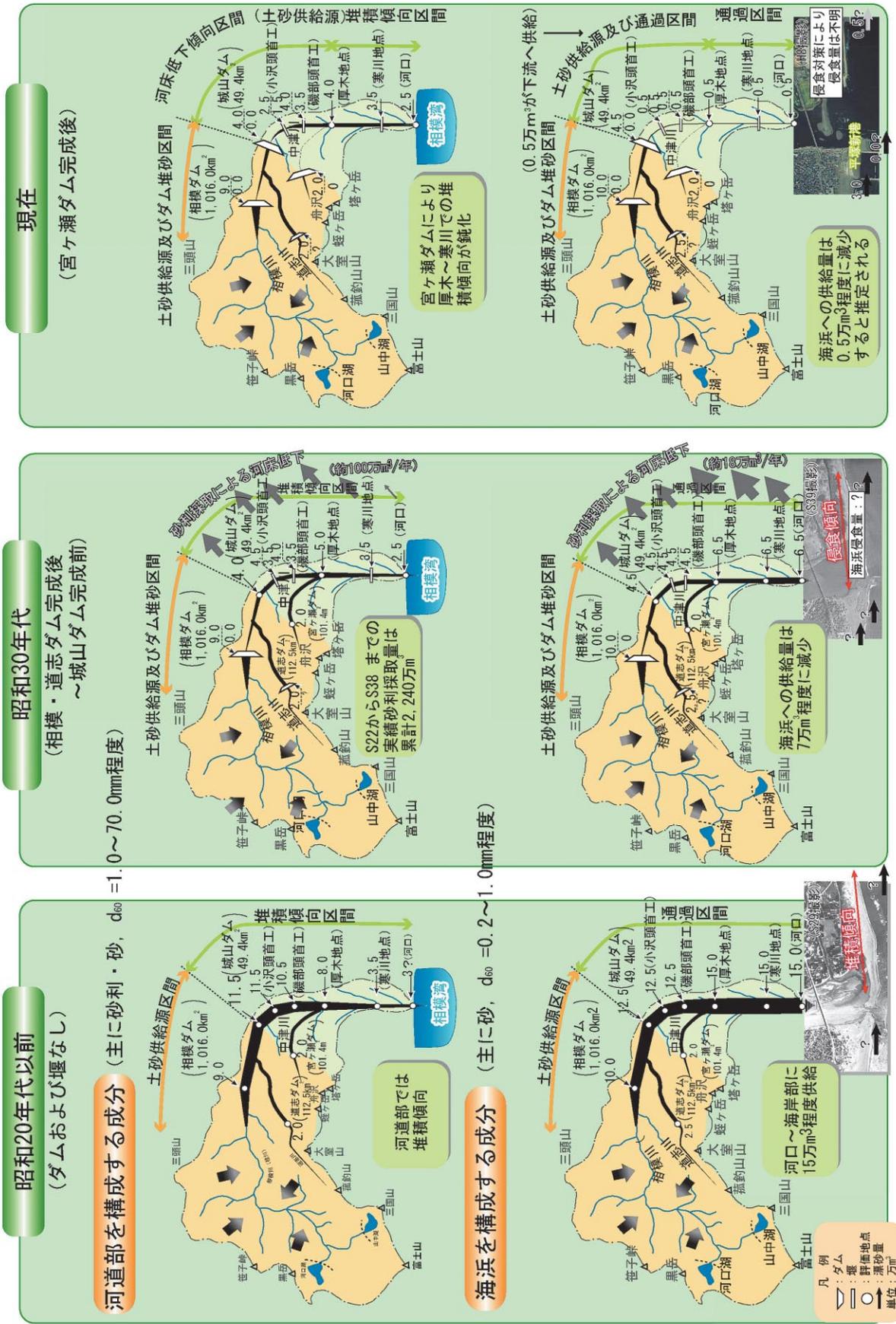


図5・3 相模川の土砂形態の変遷

と考えられる。相模ダムや道志ダム完成後の昭和30年代になると土砂供給は約6万 m^3 /年に激減し、これにより河道上流部の土砂移動量は減少しているが、下流部のそれは河道内に蓄積されていた土砂の移動があり、減少はさほど大きくない。さらに城山ダム及び宮ヶ瀬ダムが完成した現在は、上流域からの供給はほとんどなくなり、河道は河道内に蓄積されていた土砂が移動している状態と考えられる。

なお、3章で述べた河道域からの砂利採取は、約150年分の供給土砂量に相当する膨大な量で、河道域で平均2~3m（5mという説もある）といわれる河床低下の原因である。しかし、堰直下や河口域など河道の緩勾配化が起こる一部区間を除き、河床掘削による土砂移動量の減少効果は大きくないと考えられる。

2) 海岸域への土砂供給の変化

海岸域を主に構成する砂成分（粒径0.2~1mm）の土砂は、ダムや堰など人為的インパクトが加わっていない時代には約15万 m^3 /年がダムから供給され、河道を通過し河口に供給されていた。相模ダムや道志ダム完成後の昭和30年代になると土砂供給は約7万 m^3 /年に激減し、さらに城山ダム及び宮ヶ瀬ダムが完成した現在は、上流域からの供給は1万 m^3 /年未満とほとんどない状態と考えられる。

6. 相模川の土砂環境改善の方向性

6.1 土砂環境改善の目標

相模川流砂系の土砂環境改善の目標は、相模川で顕在化している課題が起こる前の状況をめざすことが復元のイメージを捉えやすく、課題へ対応するための土砂移動量を設定しやすい。

改善の目標については、相模川に関係するステークホルダーによる懇談会で議論がなされた。

まず、既存の航空写真や環境情報をもとに、昭和20年代以前（ダム及び堰無し）、昭和30年代前半（相模、

道志ダム完成後）、昭和60年代（城山ダム完成後）、現在（宮ヶ瀬ダム完成後）の4時点において、前述した課題に関わる河道の物理的、生態的環境がどのような状態であったかを評価、提示した。

その結果、昭和30年代前半は、

- 河原生態系の生息基盤となる礫河原が多く残っていた。
- 多量の砂利採取実施前で相模川本来の河原環境が維持されていた。
- 河口干潟や周辺海岸の砂浜が維持されていた。

と考えられることより、相模川の土砂環境改善の目標は『昭和30年代前半の相模川（健全な流砂系）をめざす』とした。

6.2 土砂環境の復元に必要な土砂量

1) 土砂移動のタイムラグへの配慮

河道域を主に構成する大粒径の土砂は河道を移動する速度が遅いため、河道域の変化は上流域から長期間をかけて下流に伝播する。一方、河口・周辺海岸域を主に構成する小粒径の土砂は河道を移動する速度は速く、河口・海岸域の変化は比較的早く現れるはずである。

相模川の土砂移動量の変化による地形変化は河口砂州の河道内への後退と左岸茅ヶ崎海岸（柳島地区）の海浜侵食で確認できる。これらの地形変化は昭和55~60年頃から顕在化しはじめ、この変化のインパクトと考えられる相模ダム完成（昭和22年）、砂利採取（主に昭和31~37年）、城山ダム完成（昭和40年）から15~40年程度を経過している。

このことから、相模川の土砂環境復元の目標として、当面は昭和30年代前半の土砂移動量を目安として対応を考えていくものとしたが、対応による土砂移動や地形、環境変化のタイムラグを確認しながら必要に応じ、目標を見直すことが必要とした。

2) 河道域への供給必要量

河道域で問題となっている河床のアーマコート化や河原系植物の衰退プロセスと土砂量との関連性は明確でないが、礫河原がまだ多く残っていた昭和30年代前半の土砂移動量を目安とすると、砂利・砂成分（粒径1~70mm）約6万m³/年を下流河道へ供給することが必要と考えられる。

3) 河口・周辺海岸域への供給必要量

河口砂州干潟や海岸の砂浜が維持されていた昭和30年代前半を目安とすると、砂成分（d=0.2~1mm）約7万m³/年を下流河道へ供給することが必要と考えられる。

7. 健全な土砂環境をめざした対応

目標とする「昭和30年代前半の土砂移動量」をめざすための対応は、流砂系を土砂生産域、ダム域、河道域、河口・海岸域に分けて抽出し、考えられる対応ごとに、懸案課題に対する対応効果、コスト・技術面、地域社会への影響等の定性的評価を行なった。

当面の対応は、流砂系での連続した適切な土砂の量と質を確保できるものとし、現状の施設等が利用できる初期投資が少ない案で、土砂供給による効果・影響を検証しつつ、かつ土砂量を柔軟に変えられる案とした。

この結果、相模川では土砂環境改善に向けた当面の対応としては、土砂動態や環境変化などをモニタリングしながら対策効果を検証しつつ実施できる『ダム浚渫土等を利用した下流河川への置砂対応』を提案した。

8. まとめ

本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

○顕在化した課題は、ダム域から河道、河口、海岸までの広範囲に及んでおり、流砂系としての対応が必

要である。

○精度は十分でないが、過去から現在の土砂動態マップを作成することにより、土砂動態と地形、環境変化を把握でき、対応策が明確になった。

○過去から現在までの土砂動態と課題が顕在化時期から、土砂環境のあるべき姿の目標をイメージできた。（航空写真、地形図の経年変化の整理だけでも定性的把握が可能である）

○当面の対応策として、効果・コスト・技術面・地域社会への影響を考慮して、『置き砂』を提案した。

9. 今後の課題

本研究の今後の課題を以下に示す。

○土砂動態マップの精度向上

○流砂系における土砂動態変化と河川生態系の関連性把握

○対応策の技術的・経済的可能性の把握

○流砂系の視点からの河川整備計画、河川環境管理計画、河川維持管理計画のあり方の検討

謝辞

本研究を行うにあたり、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所調査課、および「相模川水系土砂管理懇談会」の先生方に貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 河川審議会 総合政策委員会 総合土砂管理小委員会（1998）：「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」報告
- 2) 国土交通省国土技術研究会報告（1999~2001）：流砂系における土砂移動実態に関する研究、流砂系一貫の土砂管理による海岸保全計画に関する調査
- 3) 財団法人 国土開発技術研究センター（1999）：流

砂系総合土砂管理計画策定の手引き（案）計画編，
調査編

- 4) 山本晃一，藤田光一（1999）：科学 vol.69 土砂の制御は可能か

6. 大規模河道網におけるダムの持つ 洪水水位低減効果に関する研究

山田 正* 戸谷 英雄**

1. はじめに

我が国の治水ダムは治水単独目的で設置管理されているものは、極めて少なくそのほとんどは利水と兼用された多目的ダムであり、それぞれ容量配分がされており、それを基本にしてダムの操作が行われている。

ダムの基本的な水位調節の構造は、常用ゲートと呼ばれるダム本体に開口している排水口と、ダムクレスト部に設置されている非常用ゲートから構成されている。洪水調節容量が最も必要な洪水期は、一方では深刻な水不足の発生する恐れが一番高い時期でもあり、このため利水容量を確保しつつ、その上に治水容量を持つ2階建て構造となっている。非洪水期は、ダムの有効容量全体を利水容量としている。

しかしながら利根川水系のように上流にいくつものダムを持っている場合は、個々のダムとしてだけではなく、それぞれのダムの流域面積、容量、気象、水文等の特性を十分に考慮した上で、合理的、効率的なダム管理を目標にした、統合的な運用操作が必要である。このため現在利根川水系では、低水管理については、S39年に利根川ダム統合管理事務所、S47年には鬼怒川ダム統合管理事務所が設置され、統合的な操作運用が行われているものの、もう一方の高水管理については降雨予測、洪水予測の難しさから、個々のダムの洪水時操作規則に基づいた操作が行われている。これらの管理は利根川水系の首都圏における水供給の役割の

大きさから、常に渇水回避を念頭においた、用水の効率的且つ効果的な補給が主たる目標になっている。

さらに近年、上流のダム群によって、下流河川の流況変化、土砂動態の変化をもたらし、それが河川環境を大きく変えていることについて問題を指摘する声が高まってきており、新たなダムを設置することへの問題提起になっている。このことは今後ダムを建設する場合、これらに対する管理上の問題に対しても検討が必要であることは当然として、既設のダムに対しても、そのダムの持つ容量を治水、利水、環境という管理目標に対し極限まで有効に活用するための管理が必要であろう。

本研究ではこれらのことを踏まえて、次のような課題に対し、ダムの多様な操作が下流の河道にどのように応答するか、概略感度分析を試みようとするものである。本稿はその第1歩として、渡良瀬川に位置する草木ダムを例として洪水管理の典型的な操作が、下流河道にどのように応答するかを観た。草木ダムにおいて適用した4つの運用方法それぞれに対して下流の2地点において水位・流量をダムによる制御のない場合と比較した。

1. 局地的な降雨予測の精度が、近年飛躍的に高まってきたこと、ダムの数の多い利根川水系では、危険分散機能が働くことを前提に、効率的なダム操作として、利水容量を使った洪水調節によって、

* 中央大学 理工学部土木工学科 教授
** (財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所 研究第4部長

どの程度ピーク水位，流量を低減することができるか。

2. 1の場合，利水容量を洪水終了までに回復させるための，流域特性及び操作等の考え方
3. このような操作を実施した場合の下流河道の流況について，操作規則どおりの場合と比較を行い，治水・環境等の観点から，その有利性の検討を行う。
4. このような操作を可能にする，ダム放流施設・規則の改善，下流河道の安全性確保の必要性

草木ダムにおいて適用した4つの運用方法それぞれに対して下流の2地点において水位・流量をダムによる制御のない場合と比較した。

なお，治水に対してダムの有効性を確保した上で利水にも支障を与えない管理，あるいは利水上制約からの治水効果に及ぼす影響等については次稿に発表する予定である。

2. 利根川上流ダム群の諸元

2.1 利根川上流ダム群の運用状況

利根川流域には治水目的を持つ大きなダムは10個存在し（草木，園原，川治，五十里，川俣，下久保，藤原，矢木沢，奈良俣，相俣；水文水質DBより），それらの全てが複数の目的を持つ多目的ダムである。その中で栗橋地点より上流には7つのダムが存在し，それらの位置を図2・1に示す。さらに，利根川水系に存在する10ダムの諸元を表2・1に示す。最も有効貯水容量が大きなダムは矢木沢ダムであり，最も有効貯水容量が小さなダムは園原ダムであるが，園原ダムが持つ集水面積は利根川水系の10ダムの中で最も大きい439.9km²である。このようにそれぞれのダムの持つ役割，特徴は異なるため，それらを十分把握した上で解析を行う必要がある。その中でも渡良瀬川本川に唯一存在し比較的容易に洪水水位低減効果を観ることができる草木ダムの洪水水位低減効果に着目した。図

2・2に草木ダムの容量配分図を示す。草木ダムは重力式コンクリートダムであり放流設備は堤体の中ほどに2門の常用洪水吐，クレスト部に4門のラジアルゲートを持つ非常用洪水吐を備え，発電目的もあるため死水容量が設定されている。常用洪水吐きは最大で640m³/s放流可能で，非常用洪水吐きと常用洪水吐きで同時に放流すると最大で4,320m³/s以上放流が可能である。集水面積は254km²，堤高140m，堰長405m，堤体積1321×10³m³，総貯水容量6050×10⁴m³，有効貯水容量5050×10⁴m³，洪水調節容量2000×10⁴m³，サーチャージ水位と常時満水位は等しく標高454m，夏期制限水位の標高は440.6m，最低水位は403.7mである。



図2・1 利根川水系の洪水調節目的を持つダム及貯水池（鬼怒川上流の川治，川俣，五十里ダムを除く）

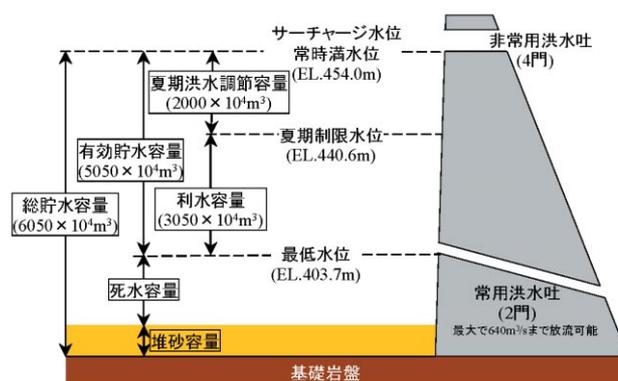


図2・2 草木ダムの容量配分図

表2・1 利根川水系に存在する洪水調節目的を持つ10ダムの諸元
 水文水質DB及び利根川上流ダム群の概要（利根川ダム統合管理事務所発行）を参照

ダム名	管理機関	河川名 (ダム所在地)	集水面積 [km ²]	堤高 [m]	有効貯水容量 洪水調節容量 [×10 ⁴ m ³]	サーチャージ水位 [EL.m]	常時満水位 [EL.m]	夏期制限水位 [EL.m]	最低水位 [EL.m]	目的
草木ダム	(独)水資源機構	渡良瀬川 (群馬県)	254.0	140	5050 2000	454.0	454.0	440.6	403.7	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・特定灌漑 ・水道用水 ・工業用水 ・発電
園原ダム	国土交通省 関東地方整備局	片品川 (群馬県)	493.9	76.5	1414 1114	565.0	564.0	550.0	543.5	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・発電
川治ダム	国土交通省 関東地方整備局	鬼怒川 (栃木県)	144.2	140.0	7600 4000	616.0	616.0	594.0	544.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・特定灌漑 ・水道用水 ・工業用水 ・発電
川俣ダム	国土交通省 関東地方整備局	鬼怒川 (栃木県)	179.4	117	7310 5249	976.0	976.0	967.5 (6月15日-8月14日) 965.5 (8月15日-9月30日)	930.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・特定灌漑 ・発電
五十里ダム	国土交通省 関東地方整備局	鬼怒川 (栃木県)	271.2	112.0	4600 -	591.0	586.0	578.0 (6月15日-8月14日) 575.0 (8月15日-9月30日)	566.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・発電
下久保ダム	(独)水資源機構	神流川 (群馬県・埼玉県)	322.9	129	12000 3500	296.8	296.8	283.8	223.7	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・水道用水 ・工業用水 ・発電
相俣ダム	国土交通省 関東地方整備局	赤谷川 (群馬県)	110.8	67	2000 940	565.0	565.0	563.5	535.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・発電
藤原ダム	国土交通省 関東地方整備局	利根川 (群馬県)	138.2	95	3101 2120	654.0	651.0	639.0	624.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・発電
矢木沢ダム	(独)水資源機構	利根川 (群馬県)	167.4	131	17580 2210	854.5	850.0	-	796.5	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・特定灌漑 ・水道用水 ・発電
奈良俣ダム	(独)水資源機構	樽俣川 (群馬県)	60.1	158	8500 -	888.0	888.0	881.0	800.0	・洪水調節 ・流水の正常な機能の維持 ・特定灌漑 ・水道用水 ・工業用水 ・発電

草木ダムの洪水時の原則的な操作規程は昭和52年の建設時代に定められており、それによると流入量500m³/s以上を洪水と定義し、そのときの放流量は式(1)により決定される。

$$\text{放流量} = (\text{流入量} - 500) \times 0.1 + 500 \quad (1)$$

(単位はm³/s)

この放流は常用洪水吐の操作によって行われるが、ダムが満水になってくるとただし書き操作により非常用洪水吐から流入量とほぼ同じ量が放流される。草木ダムのこれまでの既往最大放流量は2001年9月10日(台風15号)の906m³/sである。このとき(2001年9月8日～13日)の草木ダムにおける実際の運用状況を図2・3に示す。残存調節容量率とは、その時刻での残りの洪水調節容量を洪水調節容量全体で割った割合である。この洪水では、総降雨量540mm、最大時間雨量26.4mm、草木ダムの最大流入量は約1119.19m³/sであった。

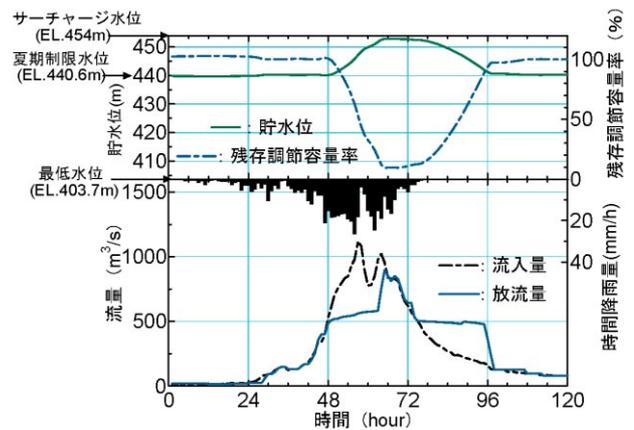


図2・3 洪水時における草木ダム流域の時間降雨量と草木ダムの流入・放流量の実測値(2001年9月8日～13日)

〔流域平均時間雨量、流入量、放流量、貯水位のデータに関しては草木ダム管理事務所より提供して頂いた〕

2001年9月10日午前4時の時点で残りの洪水調節容量が洪水調節容量全体の約9%となり、それ以降は、ただし書き操作により流入量と同じ流量を放流して夏期制限水位になった時点で定水位操作に移行していることがわかる。

図2・4は草木ダムにおける2002年7月9日～15日の流入量と放流量である。2002年7月10～11日(台風6号)に草木ダム流域では総雨量403mm、最大時間雨量41mmの豪雨が観測され草木ダムでは、流入量が増加した7月10日12時にダムから放流を開始し、同日13時10分から翌21時17分までの間、洪水調節を行った。洪水調節は、最大流入量毎秒約950m³のうち毎秒約550m³を下流に放流し、毎秒約400m³をダムに貯留して行った。

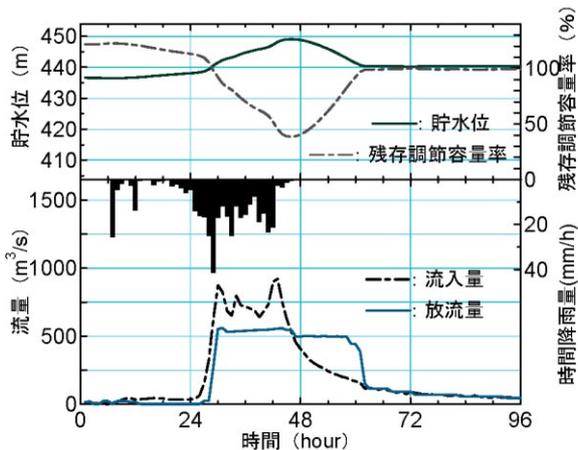


図2・4 洪水時における草木ダム流域の時間降雨量と草木ダムの流入・放流量の実測値(2002年7月10日～14日)

〔流域平均時間雨量、流入量、放流量、貯水位のデータに関しては草木ダム管理事務所より提供して頂いた〕

図2・5は草木ダムにおける2002年10月1日～5日の流入量と放流量である。このときの草木ダム流域では最大時間雨量33mmであり、草木ダムの最大流入量は約560m³/sであり、最大放流量は約445m³/sであった。洪水の流入が10月1日の非洪水期であり、通常操作であれば常時満水位EL.454mを目指して貯留するのであるが、貯水池法面保護工事のため、EL.448m以上への貯留を行わなかった。

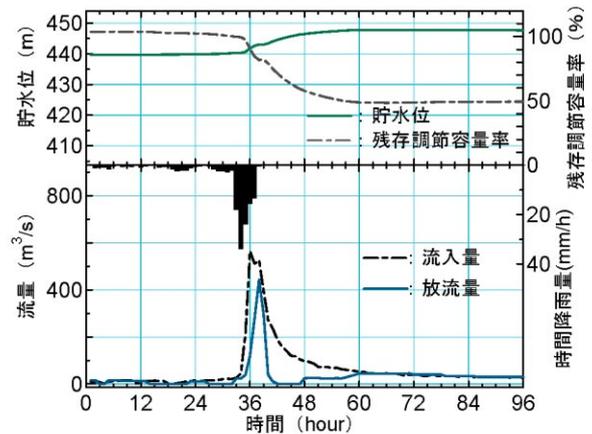


図2・5 洪水時における草木ダム流域の時間降雨量と草木ダムの流入・放流量の実測値(2002年10月1日～5日)

〔流域平均時間雨量、流入量、放流量、貯水位のデータに関しては草木ダム管理事務所より提供して頂いた〕

図2・6は矢木沢ダムにおける2002年7月9日～15日の流入量と放流量である。このときの矢木沢ダムでは雨が降る前に発電の運用によって放流を行うことで結果的に前期放流となっている。最大流入量は約223m³/sであり、最大放流量は約191m³/sであった。

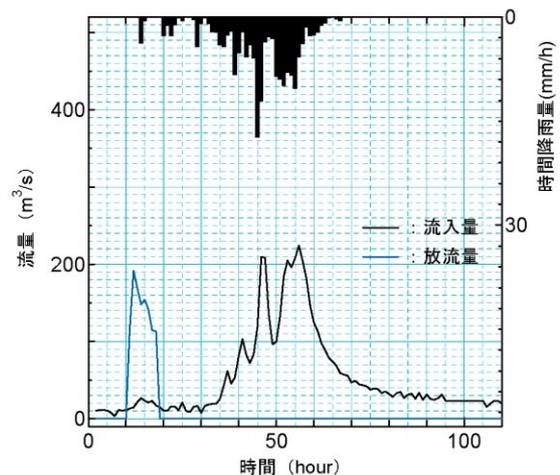


図2・6 洪水時における矢木沢ダム流域の時間降雨量と矢木沢ダムの流入・放流量の実測値(2002年7月9日～15日)

〔時間雨量、流入量、放流量のデータに関して水文水質DBより引用〕

図2・7は下久保ダムにおける2002年10月1日～5日の流入量と放流量である。このときの下久保ダム流域では最大時間雨量22mmであり、下久保ダムの最大流入量は約324m³/sであり、最大放流量は約202m³/sであった。ピーク後の流入量と放流量はほぼ同じ値をとっている。

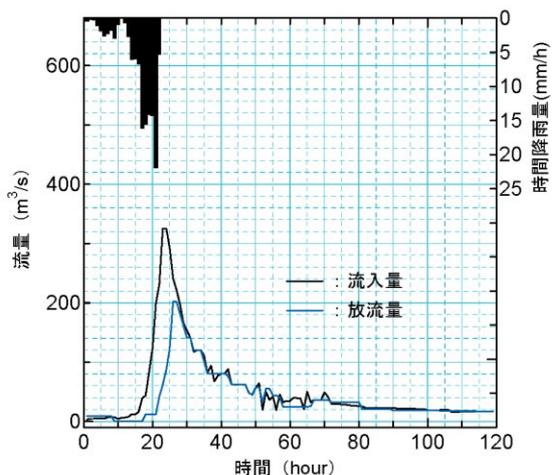


図2・7 洪水時における下久保ダム流域の時間降雨量と下久保ダムの流入・放流量の実測値(2002年10月1日～5日)

〔時間雨量、流入量、放流量のデータに関して水文水質DBより引用〕

2.2 草木ダム流域の流出特性

降雨予測及び降雨開始からできるだけ早い段階で有効降雨量を算出し、それに基づいた放流量を決定することで、より効果的なダム操作が可能になると考え、草木ダム流域の特性を観た。草木ダム流域における総降雨量と流出率の関係を図2・8に示す。洪水時の草木ダム流域の流出率は多少の違いはあるが約0.5～0.6程度になることがわかる。図2・9は草木ダム流域における洪水時の総降雨量と総直接流出量の関係である。総降雨量と総直接流出量は極めて高い相関性があると言える。さらに、ピーク流入量が500m³/sを超える出水を洪水と定義しているが、それらは最低でも総直接流出量は2000×10⁴m³を越えている。図2・10はピーク流入量と流入量のピーク時から4日間の総流入量の関係

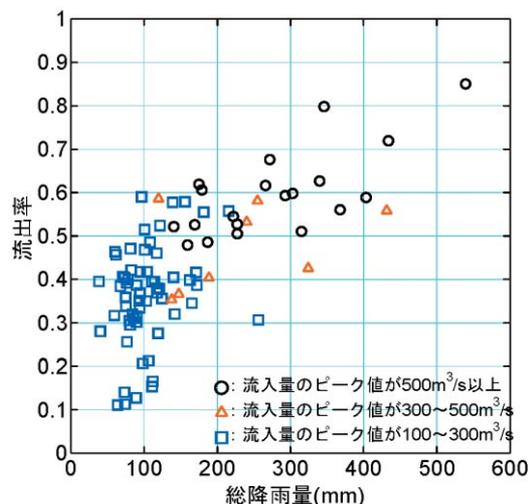


図2・8 草木ダム流域における総降雨量と流出率の関係

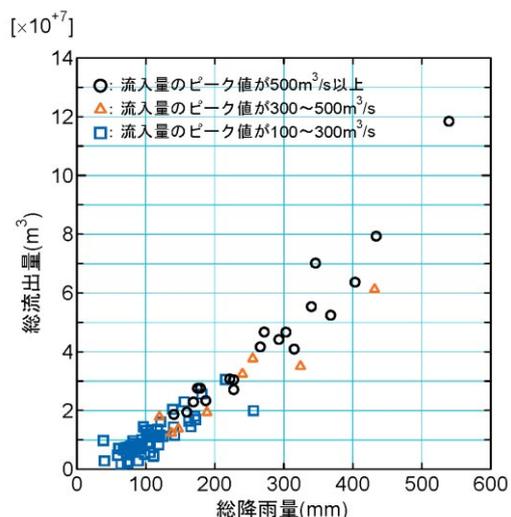


図2・9 草木ダム流域における総降雨量と総直接流出量の関係

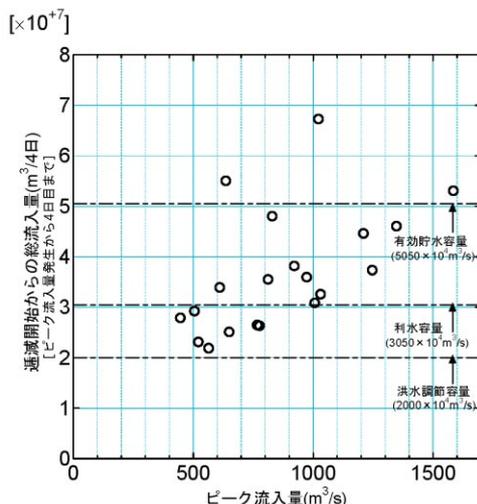


図2・10 草木ダム流域におけるピーク流入量とピーク以降4日間の総流入量の関係

係である。また、逓減開始をピーク時からとした場合に加えてピークから3時間後、6時間後からとったものも同時に示した。この傾向により草木ダムへの流入量のハイドログラフの逓減部を再現することができる。また、図2・10よりダムへの流入量ピークからの4日間で最低でも $2000 \times 10^4 \text{m}^3$ が草木ダムに流入しており、そのほとんどが $3000 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上流入していることがわかる。草木ダムの利水容量が $3000 \times 10^4 \text{m}^3$ であるから、前期放流で夏期利水容量を全て流下させ最低水位まで貯水位を下げた状態で洪水を迎えたとしても、洪水終了後ダムへの流入量のダムへの流入量のピークから4日間で夏期制限水位まで回復することが可能であることが言える。

3. 1つのダムの持つ洪水水位低減効果に関する数値解析

3.1 利根川河道網における草木ダムとその洪水水位低減効果の比較地点

渡良瀬川に位置する草木ダムを例として洪水管理の典型的な操作が、下流河道にどのように応答するかを観るために数値解析を行った。草木ダムにおいて適用した4つの運用方法それぞれに対して下流のA地点とB地点の2地点において水位・流量をダムによる制御のない場合と比較した。

図3・1は計算に用いた利根川河道網における草木ダムとその洪水水位比較地点を示している。ダムによる流量制御の効果を草木ダムの53km下流地点で渡良瀬川と利根川の合流部から25km上流地点（この地点を本稿ではこれ以降A地点と定義する）と渡良瀬川と利根川の合流地点より下流で草木ダムから約75km下流で利根川河口から130km上流の栗橋地点（この地点を本稿ではこれ以降B地点と定義する）で考察し、ダムによる流量制御の無い場合との比較を行った。A地点は渡良瀬遊水地のすぐ上流にあたるため、草木ダムの治水効果が直接現れる最下流地点である。

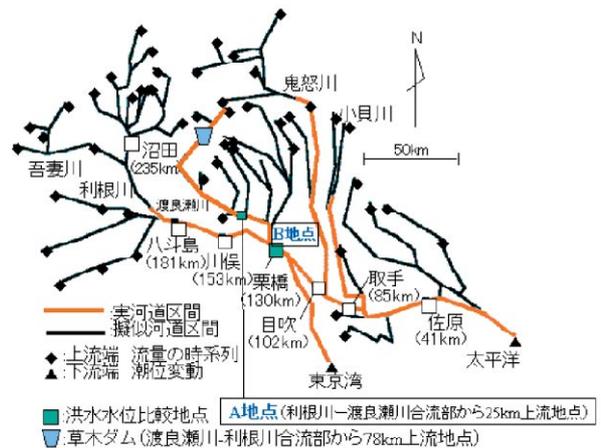


図3・1 利根川河道網における草木ダムと洪水水位比較地点

3.2 基礎式と計算条件

本研究の計算にはMIKE11及びCTI-MIKE11を用いており、河道部の流況再現では連続式及び不定流の基本式(サン・ヴナン式)を用いて計算している。連続式および運動量保存式を式(2)と式(3)にそれぞれ示す。なお、 A (m^2): 通水断面積, Q (m^3/s): 流量, q (m^2/s): 側方流入流量, α : エネルギー補正係数(1.0), h (m): 水深, g : 重力加速度, n : Manningの粗度係数, R (m): 径深である。水位計算点と流量計算点を交互に配置するスタッガート法で差分化し、陰解法6点アボットスキームによって解いている。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (3)$$

河道の粗度係数は渡良瀬川に関しては2001年と2002年の洪水の痕跡調査からセグメントごとに逆算した値を与え、渡良瀬川以外の河道には上流部、中流部、下流部の3種類に分け、それぞれ上流部に0.03、中流部に0.025、下流部に0.02を与えている。草木ダム上流の上流端境界条件は2001年9月8日～14日の洪水時の草木ダムにおける実測流入量を与えた。草木ダム上流以

外の上流端境界条件には、草木ダムでの実測流入量の流出高を1/3倍し、それを集水面積倍した流量のハイドログラフを与えた。このときの実測流入量の流出高がピークで15mm/hを超えるほどの大洪水であったために、利根川水系の流下能力を考慮して1/3倍した。図3・2に上流端の境界条件に用いた流出高のハイドログラフを示す。下流端境界条件は下流端にあたる江戸川河口と利根川河口のそれぞれに、芝浦、鹿島で実測された潮位の時系列を与えた。

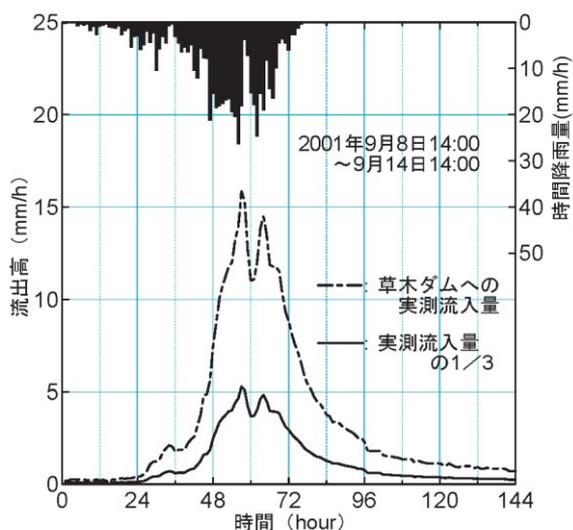


図3・2 上流端の境界条件として与えられた流出高のハイドログラフ

3.3 草木ダムに適用した流量制御方法とその洪水水位低減効果の評価

洪水時の草木ダム流域では逡減開始から4日間の流入量の積算が最低でも $2000 \times 10^4 \text{m}^3$ は流入することが明らかなため、ダム水位の初期水位に夏期制限水位と最低水位の2通りを適用した。ダムの初期水位が最低水位の場合とは前期放流を仮定したものである。草木ダムに適用したダム操作パターンは、実際に用いられている運用に則って4パターンを適用し計算した。その4パターンを以下に示す。

CASE1: 草木ダムの操作規則通りの場合

式(1)に従って放流量を決定した。ダムの初期水位が夏期制限水位の場合の運用は、実際にこの洪水が草木ダムに流入したときに行われた流量制御である。ダムが満水近くになるとただし書き操作により非常用洪水吐から流入量とほぼ同じ量が放流されている。流入量の低減部ではダムの貯水位が夏期制限水位になるように後期放流により調整されている。

CASE1を適用したときの草木ダムにおける流入量と放流量を図3・3に示す。

CASE2: 常用洪水吐きから放流を行わない場合

ダムからの放流は一切行わず、雨水をダムに貯留させ続けた。図3・4はCASE1を適用したときの草木ダムにおける流入量と放流・越流量である。

CASE3: 一定率放流の場合

流入量に着目し、流入量の30%を放流し続け、残りの70%を貯留させ続けた。図3・5よりダムの初期状態が夏期制限水位の場合では計算開始から約50時間後に、最低水位の場合では約65時間後に草木ダムが満水になり溢れ出ている。

CASE4: 貯水率に応じて一定量放流した場合

ダムの貯水量に着目し、貯水量が有効貯水容量の70%を上回った時点で一定量 $550 \text{m}^3/\text{s}$ を放流開始し、ダムの水位が夏期制限水位まで下がった時点で放流を止めた。図3・6より、ダムの初期状態が夏期制限水位の場合には計算開始から約25時間後に、ダムの最低水位の場合には計算開始から約50時間後に貯水容量が有効貯水容量の70%になり、一定量 $550 \text{m}^3/\text{s}$ 放流を開始している。

それぞれの流量制御方法別のピーク水位、流量、流速の低減量をA地点(渡良瀬川)とB地点(利根川)の2地点で考察した結果を表3・1に示す。

ダムの初期水位が夏期制限水位の場合にはCASE1とCASE4の場合、下流における洪水水位低減効果は見

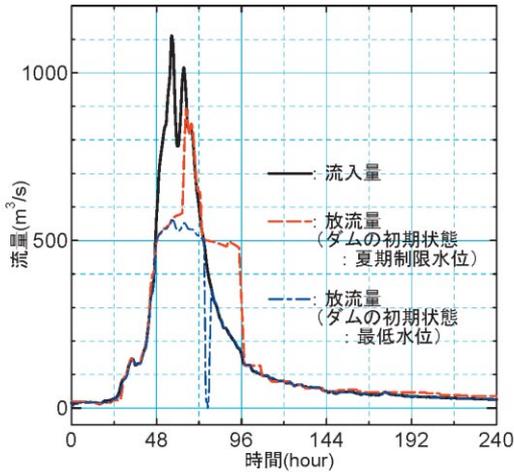


図3・3 CASE1のダム操作を適用した場合の草木ダムにおける流入量と放流量

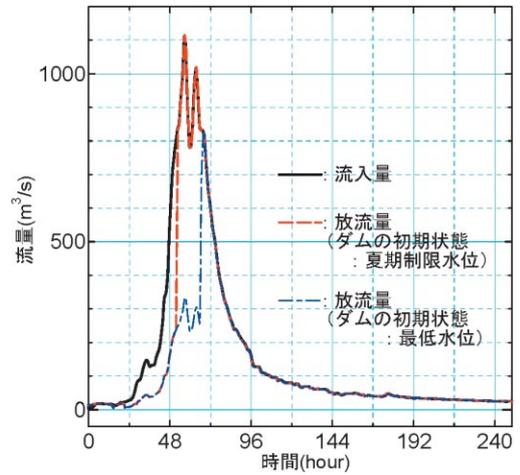


図3・5 CASE3のダム操作を適用した場合の草木ダムにおける流入量と放流量

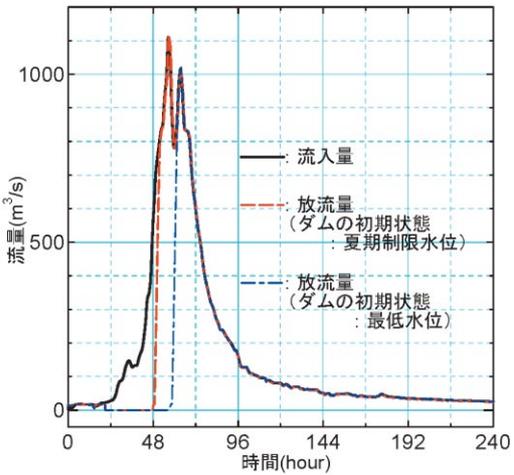


図3・4 CASE2のダム操作を適用した場合の草木ダムにおける流入量と放流量

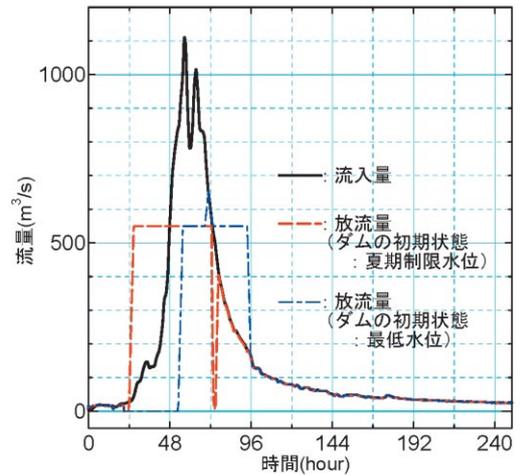


図3・6 CASE4のダム操作を適用した場合の草木ダムにおける流入量と放流量

表3・1 流量制御パターン別の下流でのピーク水位・流量・流速の低減量 (値が下がった場合を正とする)

流量制御パターン	草木ダムの初期水位	草木ダムでの流量制御による下流地点でのピーク値の低減量					
		ピーク水位差 (cm)		ピーク流量差 (m ³ /s)		ピーク流速差 (m/s)	
		A地点	B地点	A地点	B地点	A地点	B地点
草木ダムの操作規則通りの流量制御	夏期制限水位	28.3	12.6	247	413	0.073	0.028
	最低水位	39.2	13.1	338	424	0.125	0.028
常用洪水吐きからの放流を行わない場合	夏期制限水位	-0.7	1.5	-4	17	-0.066	-0.001
	最低水位	20.5	19.1	137	608	0.169	0.068
流入量の一定率を放流した場合	夏期制限水位	-1.6	2.2	-7	39	-0.043	0
	最低水位	72.9	20.8	488	680	0.248	0.069
貯水量が有効貯水容量の70%を超えたら一定量を放流した場合	夏期制限水位	37.4	12.9	323	420	-0.051	0.028
	最低水位	39.1	15.4	400	499	0.306	0.038

られるが、CASE2とCASE3は全く洪水水位低減効果は表れない。これは、降雨開始から早い段階でダムが満水になり、流入量と同じ流量を放流せざるを得なかったためである。このことから、ダムの初期状態が夏期制限水位の場合では、治水容量のみで洪水調節を行わなければならないため、流量制御開始をできるだけ遅くし、かつ流入量のピーク前後の放流量を少なくすることが必要である。

一方、ダムの初期水位が最低水位の場合には全てのCASEにおいて下流での洪水水位低減効果が見られるが、その中でも特にCASE3の一定率放流の場合では、他の流量制御に比べ各ピーク値の低減効果が2倍近く表れている。これは、流入量のピーク発生時に効率よく流入量の70%をダムに貯留させているためだと考えられる。流入量のピーク後にダムが満水になり、流入量と同じ流量を放流しているが、この後期放流は下流地点での最大水位を上昇させてはいない。これらのことからダムの初期水位が最低水位の場合には洪水調節時である流入量のピーク付近の時間帯での放流量がいかにか少ないかで低減効果が決まる。ただし、CASE2の場合においては流入量の1つ目のピークのみを制御し

ているが、それでもピーク水位を20cm低減させる効果があった。このことから、残流域から合流してくる流量のピークと放流量のピークのタイミングをずらすことが重要であり、草木ダムでは流入量の前半部のピークを制御することが重要であると言える。

最も洪水水位低減効果を発揮したCASE3の場合のA地点とB地点における水位、流量、流速のハイドログラフを図3・7～12に示す。図3・7はCASE3のA地点における水位のハイドログラフである。ダムの初期水位が最低水位の場合には、複数のピーク発生時を通して80cm程度水位を低減させていることがわかる。図3・8、図3・9は同地点での流量、流速のハイドログラフである。ダムの初期状態が最低水位の場合には草木ダムの流量制御でピーク流量が約490m³/s、ピーク流速が約0.25m/s低減している事がわかる。図3・10、図3・11、図3・12はCASE3のB地点における水位、流量、流速のハイドログラフである。ダムの初期状態が最低水位の場合にはピーク水位が約21cm、ピーク流量が約680m³/s、ピーク流速が約0.07m/s草木ダムによる流量制御の影響で下がっている事がわかる。

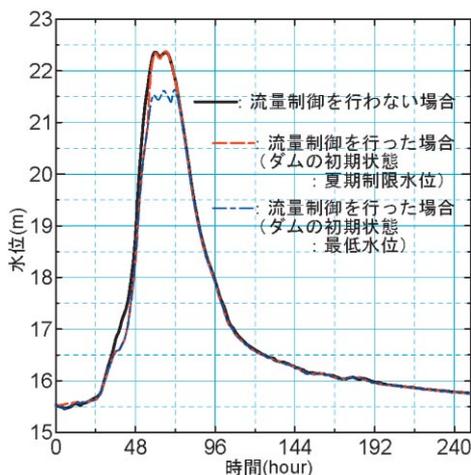


図3・7 CASE3の場合のA地点における水位のハイドログラフの比較

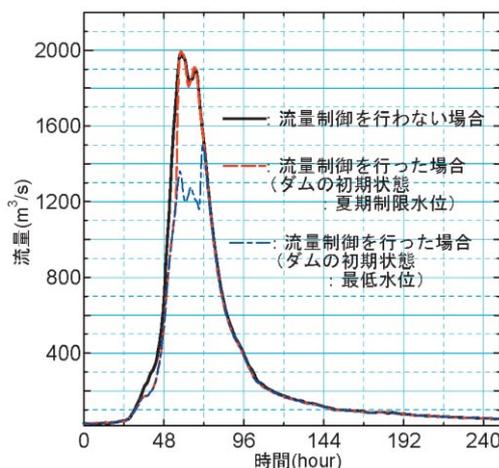


図3・8 CASE3の場合のA地点における流量のハイドログラフの比較

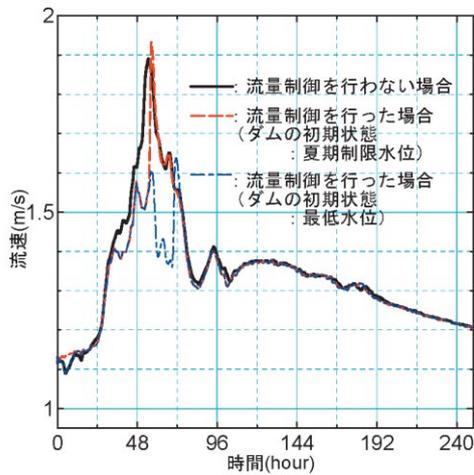


図3・9 CASE3の場合のA地点における流速のハイドログラフの比較

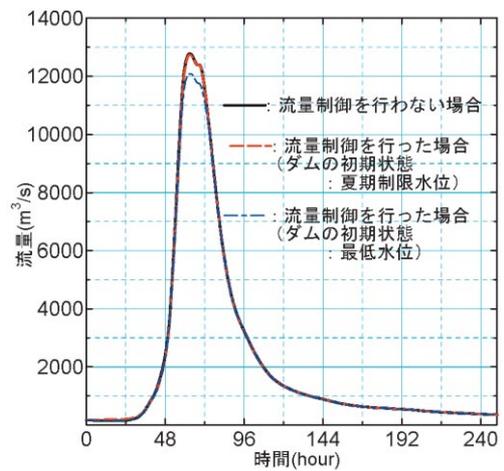


図3・11 CASE3の場合のB地点における流量のハイドログラフの比較

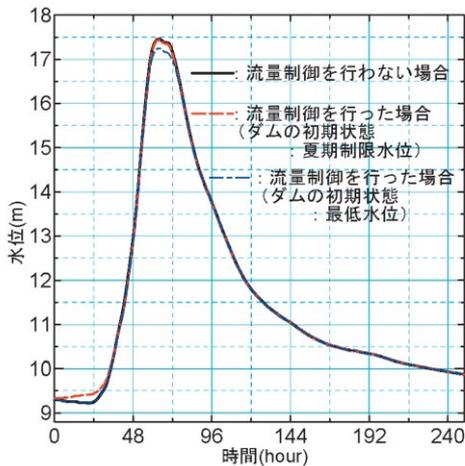


図3・10 CASE3の場合のB地点における水位のハイドログラフの比較

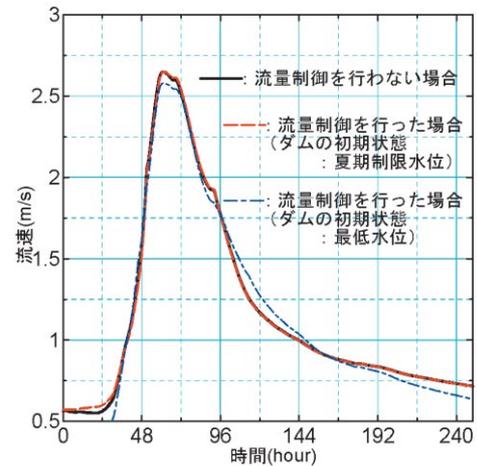


図3・12 CASE3の場合のB地点における流速のハイドログラフの比較

4. まとめ

大規模河道網における1つのダムを持つ治水機能の影響に着目し、ダムが洪水水位低減にどれほどの効果を及ぼすかを定量的に評価することとダムの最適な稼働方法を検討することを目的として、ダムによる流量制御を含んだ不定流計算を行った。渡良瀬川流域に存在し、治水目的を持つ草木ダムを対象として、その洪水水位低減効果をA地点(渡良瀬川)とB地点(利根川)の2地点で考察した。ここで得られた知見を列挙する。

- 1) 洪水時のダム貯水池への総流入量はそのピーク値以後の4日間の積算で最低でも $2000 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上あり、過去の20洪水を見る限りそのほとんどが $3000 \times 10^4 \text{m}^3$ 以上流入している。このことから前期放流で夏期利水容量を全て流下させ最低水位まで貯水位を下げた状態で洪水を迎えたとしても、洪水終了後ダムへの流入量のピークから4日間で夏期制限水位まで回復することが可能である。
- 2) ダムの初期水位が夏期制限水位の場合、降雨開始後早い段階でダムが満水になったCASE2とCASE3はピーク時の流量制御を行うことができなかった

ために洪水水位低減効果は表れていない。ダム
の初期状態が夏期制限水位の場合、洪水調節容量
のみで洪水調節を行わなければならないため流量
制御開始をできるだけ遅くし、かつ流入量のピー
ク前後の放流量を少なくすることが必要である。

- 3) ダムの初期水位が最低水位の場合、全てのCASE
において下流での洪水水位低減効果が見られるが、
その中でも特にCASE3の一定率放流の場合、他の
流量制御に比べ水位で見るとピーク値の低減効果
は2倍近くの効果が表れている。これは、流入量の
ピーク発生時に効率よく流入量の70%をダムに貯
留させているためである。
- 4) ダムへの流入量のピークを過ぎた後の後期放流及
びただし書き操作は下流地点での最大水位を上昇
させてはいない。
- 5) ダムの初期水位が最低水位の場合、流入量のピー
ク前後での放流量がいかに少ないかで低減効果が
決まる。さらに、残流域から合流してくる流量の
ピークと放流量のピークのタイミングをずらすこ
とが重要であり、草木ダムでは流入量のハイドロ
グラフの前半部を制御することが重要である。

5. おわりに

本研究は数理解析モデルの構築とダムの最適な稼動
方法の確立を目指している。本計算により算出した各
種水理量は河道の横断面形状や上流端境界条件、マニ
ングの粗度係数等の詳細な情報のもとにその結果を評
価すべきであり、研究の初期段階である本論文の各
種計算結果を早急に実流域に適用することには十分に
慎重であらねばならない。

末尾ではあるが、本研究の遂行に当り貴重なデータ
を提供して頂いた草木ダム管理事務所へ深甚なる感謝
を表します。

補遺

著者らは大規模河道網における総合的な数理解析モ
デルの構築を目指し研究を行っている。本研究では大
規模河道網における一次元不定流数値解析を行い、利
根川スケールの流域全体における洪水予測システムを
構築し、さらには利根川水系におけるダムの治水効果
を知るために様々な運用方法を適用し、その洪水水位
低減効果を定量的に評価した。

大流域河道網に一次元不定流解析を適用させシミュ
レーションを行い下流に位置する流量観測地点のハイ
ドログラフの形状を支川の本川に対する位置関係や上
流端の流入ハイドログラフのタイミングに着目してそ
の関係を見た。その結果を踏まえ、河床粗度を人為的
に変えて計算を行い、河床粗度の増加に伴い流量ハイ
ドログラフと水位（水深）ハイドログラフが受ける影
響等、洪水流出特性に関して検討した。それから得た
不定流計算を行う際に注意しなければならない事として
以下の事項を挙げた。

1. 不定流解析の計算条件

図1は不定流解析の対象とした利根川河道網の図で
あり、建設省関東地方建設局の管内図に掲載されてい
る河川(52河川)を示している。解析を行う河道は1/40
万の地形図上で河川として認識できる最上流地点から
河口地点までとした。横断河床形状は、横断形状の実
測値が存在する河道部には実測横断河床形状を、実測
値が無い河道部には擬似横断河床形状を用いた。ここ
で、擬似横断河床形状は地形図から読み取った堤防幅
と低水路幅をもとに決定した複断面形状である。実測
横断河床形状、擬似横断河床形状を適用した河道はそ
れぞれ実河道区間、擬似河道区間として図1に示した。

図2は上流端の境界条件として用いた流出高で示し
たハイドログラフと、下流端の境界条件として用いた
潮位の時系列である。下流端にあたる江戸川河口と利
根川河口のそれぞれに、芝浦、鹿島の実測された潮位

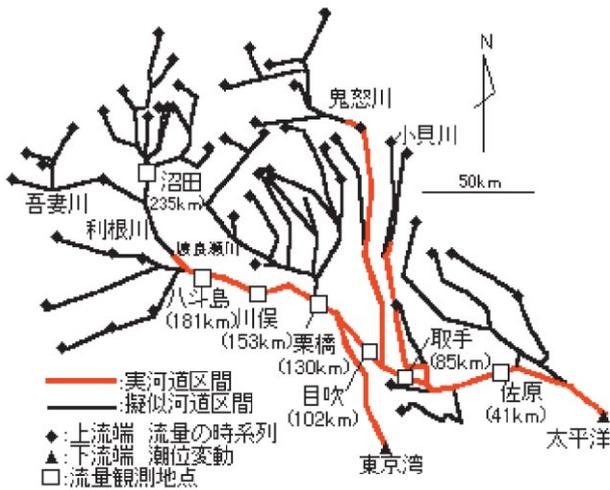


図1 不定流解析の対象とした利根川河道網

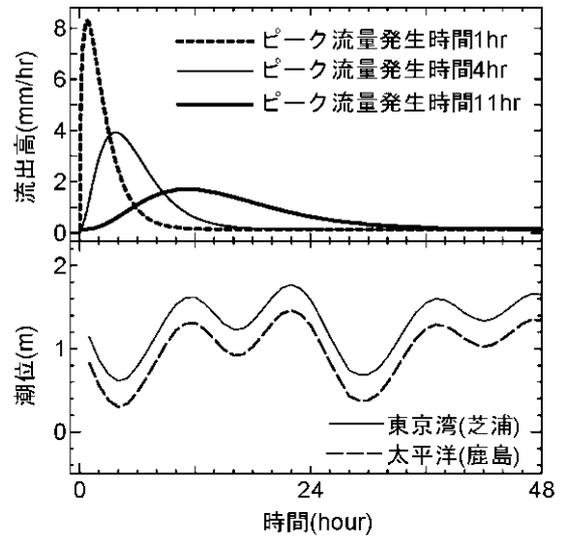


図2 河道および下流端に境界条件として用いた流量と潮位変動

の時系列を与えた。上流端の境界条件は、本来ならば山地流域における流出解析結果を用いる。しかし、本報告では上流端流入ハイドログラフが本川ハイドログラフに与える影響を見るため、上流端条件には単位面積あたり全て同一のハイドログラフ（ Γ 分布形）を用い、これを各流域面積倍したものを上流端条件としている。図2に示したように上流端境界条件に用いたハイドログラフのピーク発生時間は1時間、4時間、11時間とし、洪水波の形態の違いによる計算結果への影響を比較検討した。なおこの洪水の規模はどのケースにおいても総流出高で40mmのものを用いている。

解析にあたっては計算上の標準ケースの一つを選び、河道における設定粗度の違いが本川ハイドログラフに与える影響を見るため、標準ケースの場合と標準ケースの河床粗度を表1のように全川にわたり20%、40%、60%増加させた場合の各観測地点におけるピーク流量・水深を比較検討した。一方、山地流域の流出解析結果の精度によって支配される上流端の流入流量に対しても感度分析を行い、上流端の境界条件の差異が下流の計算結果にどのような影響を及ぼすかを調べた。

表1 河道において増大させた河床粗度

	上流部	中流部	下流部
基準粗度係数 n	0.030	0.025	0.020
1.2n	0.036	0.030	0.024
1.4n	0.042	0.035	0.028
1.6n	0.048	0.040	0.032

2. 洪水波の概形と集中面積図

図3～図5はそれぞれ、河口から181km地点（八斗島）、河口から130km地点（栗橋）、河口から87km地点（取手）の各地点における流入流量のピーク発生時間が異なる場合の流量ハイドログラフを比較したものである。上流地点ほど流入流量のピーク発生時間の違いがその地点のピーク流量の差に顕著に表れている。下流地点に行くにつれハイドログラフはなだらかになり、流入流量のピーク発生時間の差によるピーク流量の差は小さくなっていく。ここでは特に河口から181km地点（図3）および河口から130km地点（図4）の二地点に着目する。二地点において流入ハイドログラフのピーク発生時間が1時間の場合のハイドログラフを比較すると、河口から181km地点（八斗島）のハイドログラフは一つのピークを持つのに対し、河口から130km地点（栗橋）の利根川河道のものは顕著な二

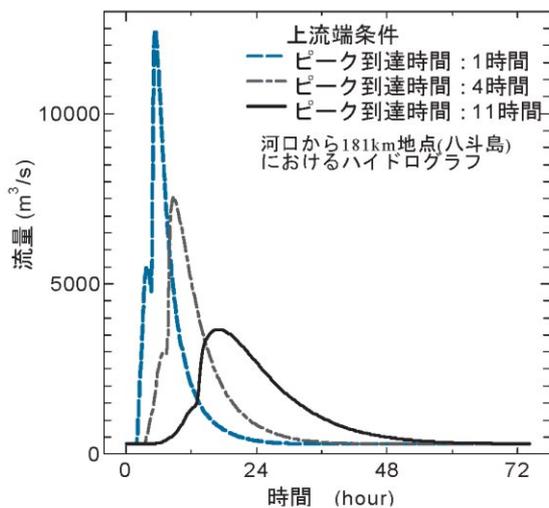


図3 河口から181km地点（八斗島）における上流端に与えた流量ピーク発生時間の違いによるハイドログラフの比較

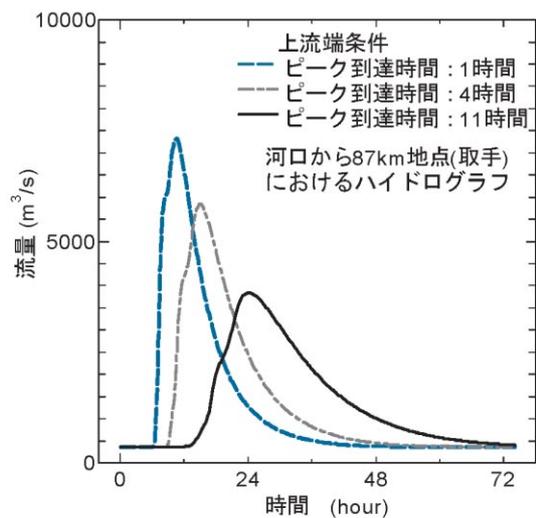


図5 河口から87km地点（取手）における上流端に与えた流量ピーク発生時間の違いによるハイドログラフの比較

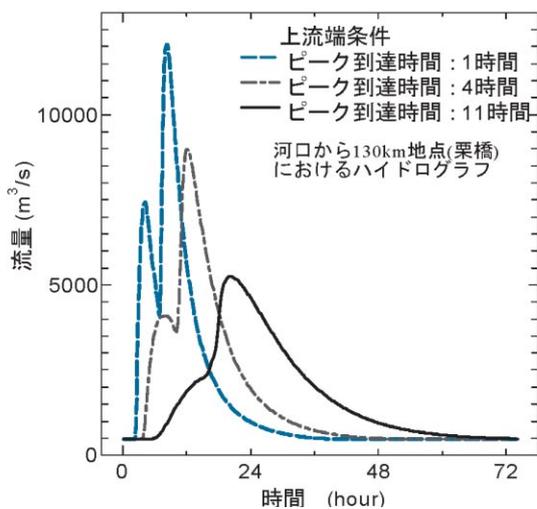


図4 河口から130km地点における上流端に与えた流量ピーク発生時間の違いによるハイドログラフの比較

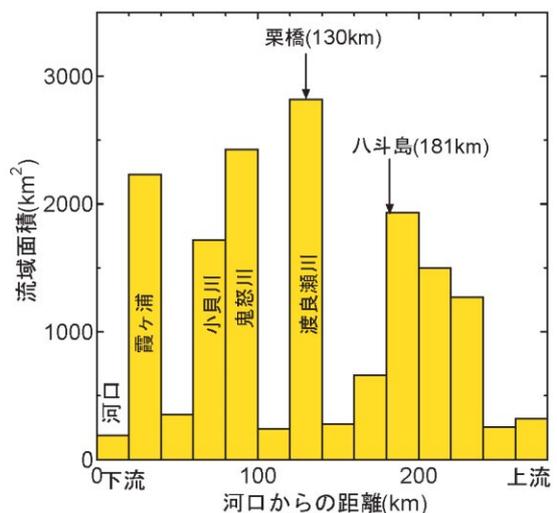


図6 利根川本川における集中面積図

つのピークを有しているのが分かる。

図6は利根川流域における河口を基準とする各支川の持つ流域面積の分布を示すもの（集中面積図）である。この図から八斗島より上流側については集中面積の分布形状は一つのピークを持つが、栗橋より上流では集中面積の分布が大きく二つのピークを持っていることがわかる。以上のことからハイドログラフの形状は流域面積がある程度大きくなると集中面積の分布形に似てくることが分かる。つまり、河口から130km地

点におけるハイドログラフ（流入流量のピーク到達時間1時間）の一つ目のピークは栗橋のすぐ上流で合流する大支川（渡良瀬川、流域面積=2621.4km²）の洪水波によるものであり、つづく二つ目のピークは利根川本川の洪水波によるものと考えられる。しかしいつでも集中面積図とハイドログラフの形状が一致する訳ではなく、ピーク発生時間Tが異なる場合のピーク発生時間T=1（時間）の時は二つのピークを持つが、T=11（時間）の場合は二つのピークは重なり合っ

ハイドログラフはひとつのピークを持つようになる。このように上流端のハイドログラフの形状により、下流のハイドログラフは様々な形状をとることがわかる。河道網の分布を合理的に表現できる不定流解析は概念モデルでは捉えることができなかった現象を的確に捉えている。

3. 上流端境界条件に対する水深と流量の感度分析

図7, 図8は上流端境界条件に流入ハイドログラフのピーク到達時間4時間のケースを用い、流入流量の割増率とそれぞれピーク水位とピーク流量の増加率との関係を示したものである。これらの図から上流端での境界条件であるハイドログラフに誤差が生じた場合、ピーク水深よりピーク流量にその効果は大きく表れることがわかる。またピーク流量の増加率は上流部では小さいが、中流へ向かうほど大きくなり、そして河口に近づくと再び小さくなっている。

4. 河床粗度に対する流量と水深の感度分析

図9と図10は、上流端境界条件に流入ハイドログラ

フのピーク発生時間4時間のケースを用い、河口から130km上流地点(栗橋)における基準粗度係数と河床粗度を割増したときの流量ハイドログラフと水深ハイドログラフである。本計算では実測の河床形状を用いている。図9, 図10を比較すると、河床粗度 n の違いに対して水位の変化は流量の変化に比べ大きいことがわかる。このことは流出解析あるいは河川計画においては水位ではなく流量を求めるべき特性量としている根拠といえる。すなわち、たとえ抵抗則の評価を少々間違えたとしても、流量 Q は保存量のように働いているのに対して、水位(水深)は抵抗係数 n 値に対して敏感に変化することを意味する。逆に計画論ではなく実施計画を立案するときには流量のみでなく水位あるいは水深を精度よく求めるべき量として扱わなければならないことを意味している。

図11, 図12は河床粗度の割増率と各地点でのピーク流量およびピーク水深の増加率を表している。これらの図から各地点における水位は流量に比べ河床粗度に対し敏感であることがわかる。また河床粗度の割増率が同じであってもピーク水深の増加率は上流地点ほど大きくなることがわかる。河床粗度が大きいほど、上流地点におけるピーク水深はより大きい。

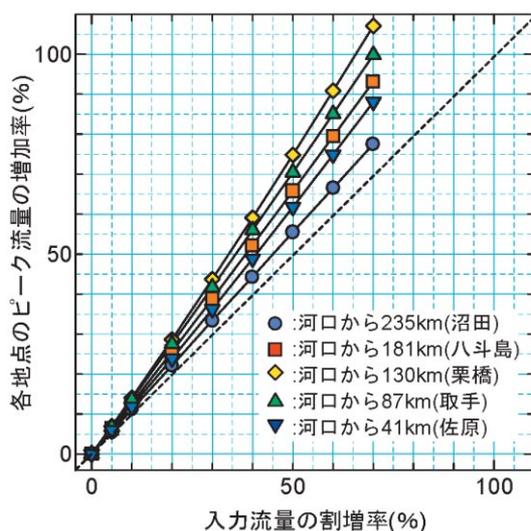


図7 流入流量の割増率とピーク流量の増加率との関係

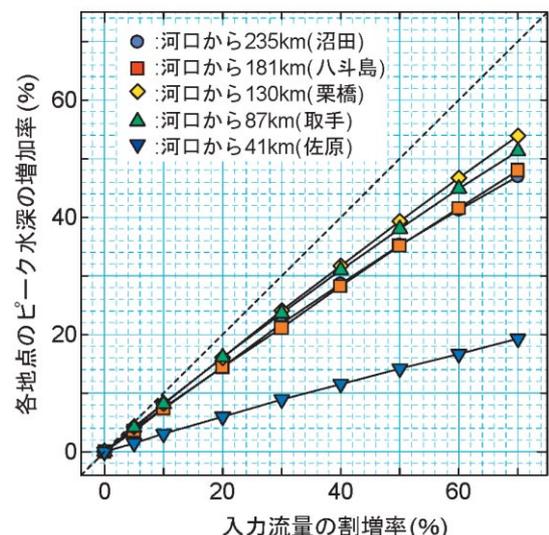


図8 流入流量の割増率とピーク水深の増加率との関係

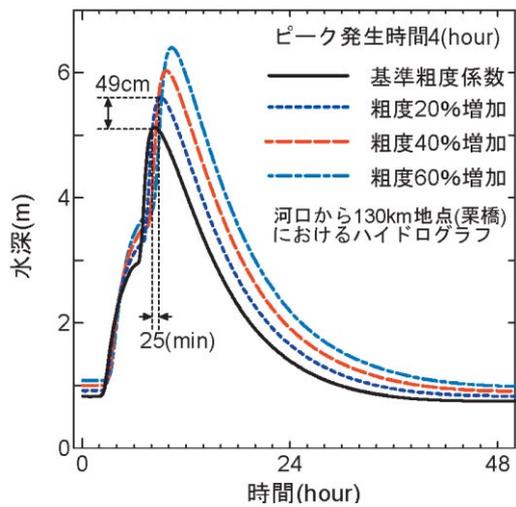


図9 河床粗度の違いによる流量ハイドログラフの比較

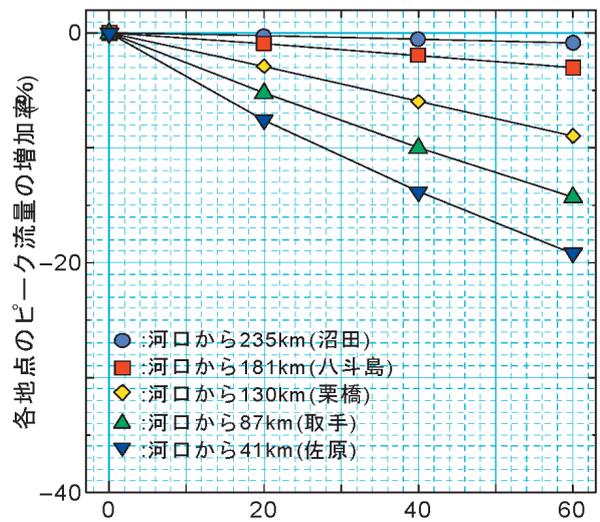


図11 河床粗度に対する流量の感度分析結果

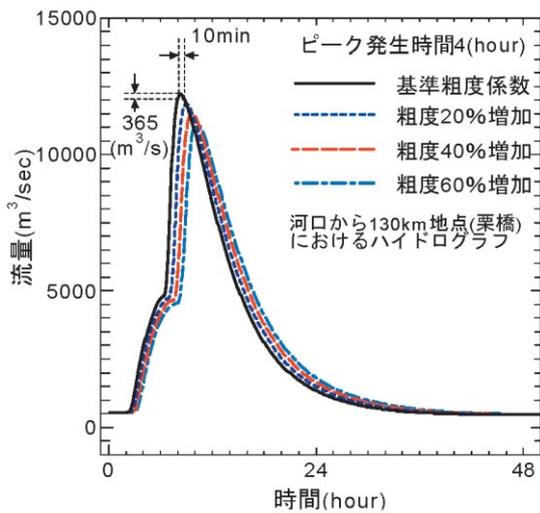


図10 河床粗度の違いによる水深ハイドログラフの比較

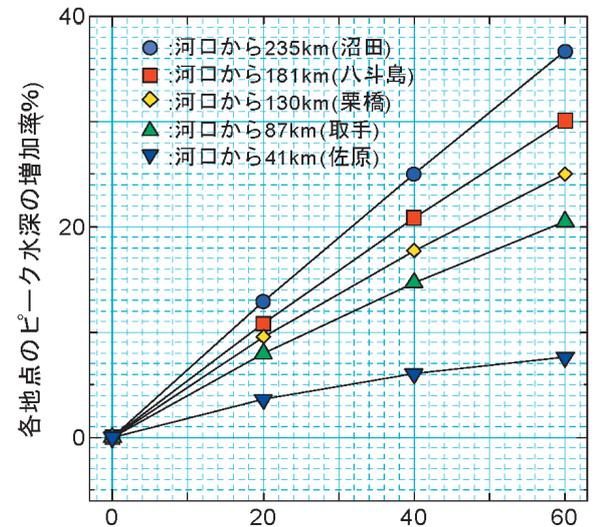


図12 河床粗度に対する水深の感度分析結果

5. 河床粗度をセグメントごとに乱数で変化させた場合のピーク水位・流量に与える影響

河道網全体において河床粗度係数が本川の水位、流量に及ぼす影響を見るために、基準粗度を用いた場合と河道網全体で河床粗度をセグメントごとに乱数で±0.1倍を足した場合の20通りを比較し、ピーク水位、流量の差を見た。河床粗度に乱数で±0.1倍を足した場合と基準粗度の場合とのピーク水位、ピーク流量の差を図13に示す。このときピーク水位差がとり

うる範囲は±40cmの幅であり、基準粗度を用いた場合でのピーク水深が944cmであるため、変動幅は4.24%であった。ピーク流量差がとりうる範囲は±70m³/sの幅であり、基準粗度を用いた場合でのピーク流量が124770m³/sであるため、変動幅は0.056%程度であった。このことからマンニングの粗度係数が流量より水位に与える影響が大きいと言える。

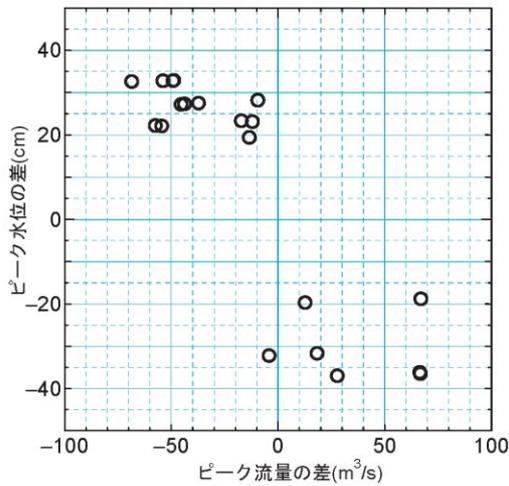


図13 渡良瀬川一利根川合流部から25km上流地点における基準粗度に乱数で±0.1倍を足した場合と基準粗度を用いた計算とのピーク水位・流量の差

〔 基準粗度を用いた場合のピーク水深：9.44m
基準粗度を用いた場合のピーク流量：124770m³/s 〕

参考文献

- 1) 大原憲明・池永均・山田正・尾崎宏・内島邦秀 (1997)：山地小流域の降雨流出に与える地形特性の影響，土木学会年次学術講演会公演概要集第2部，52， pp. 314-315.
- 2) Sherman, L.K. (1932)：Storm-flow from rainfall by the unit-graph. *Engr. NewsRecord*, 108.
- 3) 木村俊晃 (1961)：貯留関数法，土木技術資料，4，1.
- 4) Freeze, R.A. (1972)：Role of subsurface flow in generating surface runoff, 1, Base flow contributions to channel flow, *Water Resour. Res.*, 8 (3), pp. 609-623.
- 5) 山田正：(2003) 山地流出の非線形性に関する研究，土木学会水理講演会論文集，Vol.47， pp.259-264
- 6) 嶋田啓一・山田正・藤田陸博 (1989)：降雨流出におけるランピングスケールの効果に関する研究，土木学会水理講演会論文集，33， pp. 133-138.
- 7) 菅原正巳 (1975)：水文学講座 流出解析法，共立出版
- 8) 山田 正 (1981)：山地小流域の瞬間単位図と斜面

- 長分布の関係，土木学会論文報告集，第306号， pp.11-21,
- 9) 窪田順平・福嶋義宏・鈴木雅一 (1988)：山腹斜面における土壌水分変動の観測とモデル化(Ⅱ)－水収支および地下水発生域の検討－，日林誌，70 (9)， pp.381-389.
- 10) 谷誠 (1992)：森林水文学(塚本良則編)， pp. 108-119, 135, 文永堂出版
- 11) 山田正 (1981)：時定数スペクトルを用いた山地小流域の洪水流出解析，土木学会論文報告集，314， pp. 87-98.
- 12) 山田正・石井文雄・山崎幸二・岩谷要 (1985)：小流域における保水能の分布と流出特性の関係について，土木学会水理講演会論文集，29， pp. 25-30.
- 13) 山田正・山崎幸二 (1983)：流域における保水能の分布が流出に与える影響について，土木学会水理講演会論文集，27， pp. 385-392.
- 14) 鈴木雅一 (1984a)：山地流域の基底流出通減特性 (Ⅰ)，日林誌，66， pp. 174-182.
- 15) 鈴木雅一 (1984b)：山地流域の基底流出通減特性 (Ⅱ)，日林誌，66， pp. 211-218.

IV 河川管理施設等の維持管理に関する調査研究

7. 駿河湾沿岸域における漂着物の特性について

高垣 美好* 村上 宗隆**

1. はじめに

1.1 研究の背景

近年、台風の襲来や集中豪雨等による出水時に、山地部や都市域等から大量の倒木やゴミ等が河川を通じて海域へ流出することにより沿岸漂流物や漂着物が発生し、海岸利用や港湾機能の阻害、景観の悪化、漁業操業や生物生息環境に甚大な影響を及ぼす等、深刻な社会問題を生じている。

静岡県駿河湾沿岸域では、平成12年、13年の台風の際に、大井川、安倍川等から河口、海岸、港湾、漁港を埋め尽くすほどの大量の倒木等が流出し、海岸利用、港湾・漁港機能等に支障を及ぼすと共に、当地域を代表とするサクラエビ・シラス等の沿岸漁業操業において、網破り等、甚大な被害を与えた。

また、これらの漂着物及び漂流物の回収・処理は、各管理者、地方公共団体等が実施しているが、ダイオキシン類発生防止の観点から流木等の浜辺での焼却、いわゆる“野焼き”を行わなくなったこと、地方公共団体が所有する焼却施設容量に余裕がないこと、処理・利活用の費用がかかること等、回収後の処理についても大きな問題となっている。

1.2 研究の目的

沿岸漂着物に対する対策には、その特性から、山地から海域までが一体となった発生・流下抑制から回収・処理までの総合的な施策・事業の展開を行うため、関係省庁が連携して検討し、総合的な沿岸漂着物対策計画を策定することが重要である。

総合的な沿岸漂着物対策計画策定のためには、河川・海岸・港湾の漂着物の実態把握、およびその発生要因分析を行った上で、短期、中・長期における流木等の発生抑制対策（山地保全対策・河川内立木対策等）、流下抑制対策、漂着物処理対策、漂着物活用対策等について検討する必要がある。

本研究では、総合的な沿岸漂着物対策に資するために、沿岸漂着物の漂着特性、波浪や潮流と言った外力との関連、そして漂着物の発生要因分析を中心にとりまとめると共に、漂着物対策の対策に関する提言を行うものである。

2. 沿岸漂着物の実態

2.1 沿岸漂着物の漂着状況

古くから、海岸に打ち上げられる木質の漂着物は、薪などの資源として積極的に利用されてきた。そのた

* (財)河川環境管理財団 名古屋事務所 次長
** (財)河川環境管理財団 名古屋事務所 調査係長

め、沿岸漂着物に関して、その種類や分布を調査した記録はほとんど無い。1960年代のエネルギー革命による薪の利用の減少、近年の野焼きによる簡易な焼却処理の自粛といった社会情勢を背景に、沿岸漂着物被害として認識されるようになり、沿岸への漂着量や種類等が調査されるようになった。写真2・1に平成13年に清水海岸に漂着した漂着物の写真を示す。



写真2・1 漂着物の状況（清水海岸：平成13年）

2.1.1 沿岸漂着物の分布状況

駿河湾沿岸域においては、漂着物被害が顕著であった静岡県中部地区において、「出水による流木等漂着物対策中部地区調整会議」が設置され、平成12年から主にヒアリングによる漂着物の実態調査を行っている。

同調整会議の資料によると、平成12年9月の出水に伴う沿岸漂着物の処理実績量は2,155tであった。また、平成13年の台風第11号、15号に伴う漂着物は、その容量として57,042m³となっており、平成14年の台風第6号、7号で15,650m³となっている。

図2・1に、近年で最も多くの沿岸漂着物が打ち上げられたと言われる平成13年の台風11号・15号が通過した後の沿岸漂着物の分布状況を示す。

同図より被害が多かったのは、漂着量が多い順に、吉田海岸（吉田漁港海岸）、吉田海岸（大井川右岸）、相良片波海岸であった。今回整理した4つの沿岸漂着物の分布状況は、その量には差異があるものの、その出

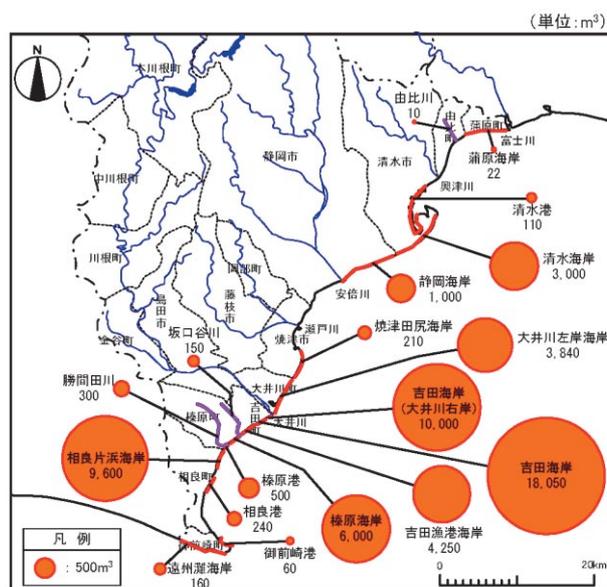


図2・1 沿岸漂着物の分布状況
(平成13年度台風11号,15号通過後)

水時にも漂着量の多くは大井川の右岸側の地区に集中している傾向であった。

「出水による流木等漂着物対策中部地区調整会議」において整理された数値は、実際に処理を行った自治体へのアンケート調査に基づいており、漂着物の分類に関するデータには、客観性が不十分であると推察された。

そこで、平成14年度の台風6号及び7号通過後に、現地にて漂着物の調査を行った。調査の内容は、①沿岸域での漂着物の種類及び量の把握、②大井川、安倍川河道内における流木の種類及び量の把握、の2種類の調査を行った。

2.1.2 沿岸漂着物の分類

沿岸域における漂着物の分類は、コドラート調査によって行った。現地の代表的と判断できる箇所にて2m×2mのコドラートを設定し、表2・1に示す4種類に沿岸漂着物を分類した。コドラート調査は、漂着物が確認された箇所の全てで行い、その数は20箇所であった。

図2・2に漂着物の分類結果を示す。今回の調査において最も漂着物の量が多かったのは、大井川右岸～

表2・1 現地踏査における漂着物区分

区分	内容
木質(1)	大型木質類(樹木, 流木塊, 等)
木質(2)	小型木質類(小枝等)
草本類	ヨシ等
生活ゴミ	人工物であるプラスチック製品(ペットボトル, 発泡スチロール等), 缶類, ガラス等

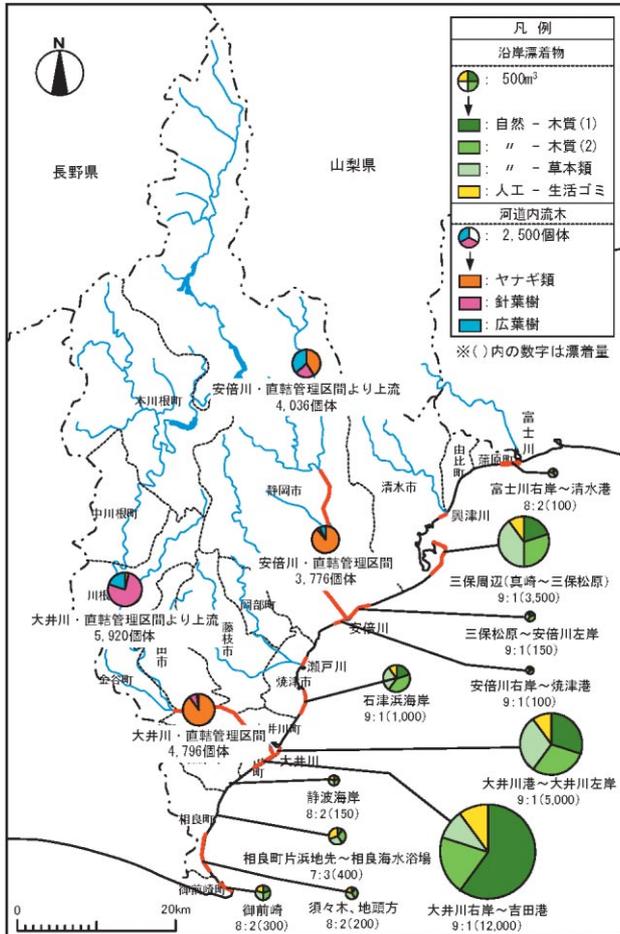


図2・2 沿岸漂着物及び河道内流木の分布状況(平成14年台風6号, 7号通過後)

吉田漁港(吉田海岸)であった。沿岸漂着物の分類は、自然物(人工的な切断面のある樹木を含む)と人工物の比は、概ね8:2~9:1であり、沿岸漂着物の多くは草本系及び木質系であることが解った。また、木質系の内、根付きの巨木と言った大型の木質類は、大井川右岸に特に見られた。これら木質系漂着物の樹種については、その多くは漂流によって樹皮がはげ落ちているため、樹種の特定は困難であった。

2.1.3 河道内の流木の状況

河道内に残る、葉や根付き、あるいは長さが1m以上の流木は、次の出水時に沿岸域に流出し沿岸漂着物となる可能性を有している。また、これら流木が沿岸漂着物の一部となることを勘案すると、河道内の流木の樹種は、沿岸漂着物の樹種と大きくなっていないと考えることが出来る。

図2・2に、大井川と安倍川で行った河道内流木の調査結果を示す。調査は、大井川と安倍川それぞれで、流木の分布が平均的であると判断した横断面を選び、その横断面を中心とした幅50mの帯の中に存在する流木を調査した。河道内の流木は、樹皮の多くが残っていたり、枝付きの流木が多かったりしたため、樹種の判断は沿岸域に比して容易であった。

大井川, 安倍川共に、直轄管理区間(安倍川: ~22.0km, 大井川: ~23.0km)とその上流域で分けた場合、河道内に残存する流木の量は、ほぼ同じであった。その本数は、今回調査した、葉や根付きの流木から1m程度の流木も含め平均的にみると安倍川では約8個体/50m, 大井川では約7個体/50mの流木が存在していたことになる。そのため、河川全体でみると、安倍川では約7,800個体, 大井川では約11,000個体と推測される。

また、流木の種類は、直轄管理区間における流木は、河道内に多く分布するコゴメヤナギを含むヤナギ類が多くを占めていたのに対し、直轄管理区間の上流では、スギ等の針葉樹や広葉樹が多くなっている。そのため、大臣管理区間では、河道内に生育するヤナギ類が発生源となることが多く、上流については河岸侵食や崩落に伴い発生した樹木が流木となるが多いことが推察される。

2.1.4 沿岸漂着物の由来

「出水による流木等漂着物対策中部地区調整会議」にて整理された資料、及び今回追加して整理した現状より、沿岸漂着物の由来を推定した。図2・3は実際に現地で行った調査結果をとりまとめたグラフである。

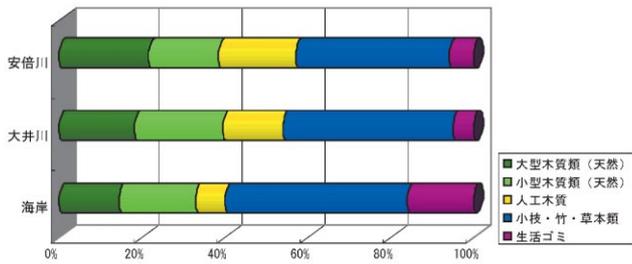


図 2・3 沿岸漂着物の分類

この分類に対して、大胆ではあるが、以下に示す仮定を取り入れた。

①木質類におけるヤナギ・草本系とそれ以外の樹木系との割合は、河道内における残留流木踏査結果の割合を適用できる。②人工木質と分類されたものの内、樹木系と生活ゴミ系の割合は体積比として2:1とする。③小枝・竹・草本類については、小枝類と草本類の割合を2:1とする。

以上の仮定を踏まえ、沿岸漂着物の由来をヤナギ・草本系とそれ以外の樹木系に分けて示したグラフを図 2・4 に示す。河道内と海岸における両者の割合は、ほぼ同じであり、河道内の流木は、直轄管理区間のヤナギ類も、その上流に存在するスギ等の針葉樹等も一つの出水で沿岸域に流下している状況が類推できる。また、生活ゴミ系は、河川に比して海岸における割合の方が大きくなっている。その理由として、生活ゴミは流れやすく、河川を通過しやすいことにより海岸で多く残ること、また、海岸域で発生する生活ゴミもかなりの割合であることが推定される。

また、さらに詳細に発生源の分類を推定した結果を

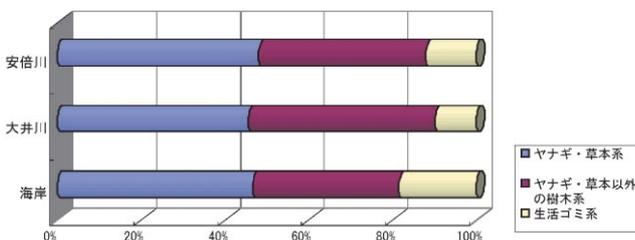


図 2・4 沿岸漂着物の由来の推定

表 2・2 に示す。表中の値については、今回の試算が主に平成14年度に実施した調査結果のみを用いていること、幾つかの仮定を想定して算出していること、等の理由から、定量的に厳密な値ではない。しかし、現地調査等で得られた所見等から、オーダーとしてはほぼ漂着物の現状を表していると判断できる。

表 2・2 沿岸漂着物の由来

沿岸漂着物の発生の原因という視点からの現状の整理

沿岸漂着物の由来

種類	割合	主な発生源と考えられるところ
ヤナギ類	23%	主に河道内や河岸に生育している樹木
針葉樹+ヤナギ類以外の広葉樹	33%	主に溪岸侵食、山腹斜面崩壊
人工木質類	11%	森林伐採後の残留木、枝類の流出防止が十分でないことやストックヤードの冠水
草本系	15%	中小河川を含む河川、水路からの流出
河川からの生活ゴミ 海岸利用の生活ゴミ	18%	ゴミの投棄・放置

2.2 沿岸漂着物による被害

沿岸漂着物に対する問題が社会的な問題として顕著化する要因となっている理由は、以下に示す様に、沿岸漂着物が直接的・間接的に様々な被害を引き起こしているからである。

直接的な被害（もしくは恩恵）という側面から現状をとりまとめた表を、表 2・3 に示す。河川・海岸においては、河道内の樹木を流出させる、海岸ではウミ

表 2・3 沿岸漂着物による直接的な被害

沿岸漂着物による被害・恩恵という視点からの現状の整理

河川関係	高水敷の利用阻害をまねく。橋脚等でせき止められ、橋への被害のほか、溢水等による災害をまねく。
海岸関係	海岸保全施設の機能阻害を生じさせる。海水浴場としての利用に支障が出る。景観を悪化させる。ウミガメの産卵に影響が生じる。海に流出した木質類は、魚礁効果等がある。
港湾関連	接岸、入出港などの港湾利用が制限される。港湾に係留している船舶のスクリュー破損などの被害を生じさせる。
ゴミの特徴	漂着物の半分以上は流木類であるが、そこに生活ゴミ、草本が混入している。生活ゴミ等は、景観悪化を助長しているほか、回収の際の分別手間を大きくしている。漂着物の問題が顕在化したのは野焼きが自粛されてからである。

ガメの産卵の妨げになる、と言った環境面への影響が大きい。また、海水浴場への漂着による利用被害や、港湾・漁港における船舶破損や漁業被害なども多く報告されている。

これら沿岸漂着物は、主に場の管理者や地元自治体の手によって回収・処理が行われている。漂着物の回収には、一部でボランティアによる人力の活用も行われているが、通常は地元自治体はその全てを回収している。また、その処理については、基本的には利活用する事となっているが、実質的には焼却処理を行っている所も多い。しかしながら、各自治体の焼却施設は、一時期に大量に発生する沿岸漂着物を受け入れる余裕はなく、漂着物の処理は自治体の大きな負担となっている。

表2・4 沿岸漂着物の間接的な被害(処理・利活用)

沿岸漂着物の処理・利活用という視点からの現状の整理		
	現在の実施主体	左記の問題点
漂着物の回収	○市町村 ○ボランティア	○市町村の負担大 ○ボランティア活動が局地的になっている
漂着物の処理	○市町村焼却施設による焼却	○市町村の負担大 ○施設能力が限界に近く、受入れ余力がない ○漂着物の処理(燃焼)に対する国の補助金等の活用が困難(野焼き禁止の代替施策が無い)
漂着物の活用	○ほとんど無し	○経費が高い ○塩分を含む ○生活ゴミ、樹木、草本類等が混在
その他		○バイオマスの活用について国の施策展開が急ピッチ

3. 沿岸漂着物の発生・漂着について

3.1 漂着物の発生特性

前節で述べたように、沿岸漂着物の由来は、河川・山地・流域等多岐にわたる。個々の発生機構(流出機構)については、現在得られているデータの範疇では言及することが出来ないが、総論として、漂着物の発生特性を、河道の出水状況と関連づけて整理することは可能である。

表3・1に、平成12年度以降に静岡県内に災害をもたらした大雨・台風の状況と、沿岸漂着物の発生の有

無を示す。非常に限られたケースであるが、これらのデータから、漂着物が発生する河道の条件として、「1～2日の間に累積雨量が安倍川では200mm以上、大井川では300mmを超え、かつ、警戒水位付近のレベルまで水位が達するような台風、大雨」という数値が整理できる。

また、警戒水位は大井川・安倍川の場合には概ね低水路法肩と一致している事から、集中的な大雨による水位の上昇に伴い、低水路内や河岸に生育しているヤナギ類等を押流すこと、山地部溪流からの流木、間伐材の流下に伴い流木が生じ、河道内に残る流木化した樹木等と一緒に海域へ流出する、という発生機構が推定できる。

表3・1 静岡県に災害をもたらした大雨・台風(平成12年以降)

年月日	台風等名称	最高水位(m)		降り始めからの総雨量(mm)		備考
		安倍川手越	大井川細島	安倍川牛妻	大井川笹間	
平成12年9月11～12日	台風第11号	3.20 (0.60)	2.18 (0.48)	208	349	漂着物有
平成13年8月21～23日	台風第11号	2.99 (0.59)	1.79 (0.09)	273	416	漂着物有
平成13年9月9～11日	台風第15号	2.74 (0.34)	1.90 (0.20)	382	491	漂着物有
平成14年7月10～11日	台風第6号	3.32 (0.92)	1.66	337	403	漂着物有
平成14年7月15～16日	台風第7号	1.04	0.77	0	74	漂着物無

備考1. 手越、細島の警戒水位は、それぞれ2.4m、1.7mである。

備考2. 最高水位の欄の()は警戒水位からの超過水位を示す。

3.2 漂着物の移動機構

漂着物の移動形態は、沿岸漂砂とは異なり、そのほとんどが海面を浮遊して移動していると考えられる。また、沿岸漂砂が恒常的に少量ずつ移動するのに対して、漂着物は出水時に大量に移動する。そのため、移動の外力としては、駿河湾内の潮流や通常時の沿岸流よりも、台風時に生じる外力が支配的であると考えられる。

今回取りあげた4つの台風は、いずれも沿岸漂着物

が発生している台風で、いずれも駿河湾岸の沖を通過していた。その際、比較的陸寄りの進路をとった台風（平成13年台風11号、平成14年台風7号）と、比較的沖合の進路をとった台風（平成13年台風15号、平成14年台風6号）とでは、大井川河口付近の風況に大きな違いが確認された。

3.2.1 台風が陸寄りの進路をとった場合

図3・1に、台風が陸よりの進路を取った場合の風況・沿岸流の変化を示す。図中、流向・流速、有義波高は清水港、駿河海洋観測所及び御前崎港の観測結果を、水位変化は手越流量観測所（安倍川）及び細島流量観測所（大井川）の観測結果を用いた。また、風向・風速は、駿河海洋観測所についてはそこでの測定結果を用い、清水港及び御前崎港については地域気象観測所（アメダス）のデータを用いた。

台風が陸寄りの進路をとった場合、各観測所における風向、流向及び河川からの出水は以下の傾向を示す。

○風向

- ・清水における風向は、風速が小さく、あまり明確な傾向は無いが、台風が接近しているときは南風、通過後は北風となっている。
- ・駿河海洋観測所と御前崎港における風向は、台風が接近しているときは南風、通過後は南西風となる傾向がある。

○流向

- ・清水港における流向は、台風の接近や通過に関わらず南向きとなる傾向がある。
- ・駿河海洋観測所における流向は、台風の接近や通過に関わらず北東向きとなる傾向がある。
- ・御前崎港における流向は、台風の接近や通過に関わらず北向きとなる傾向がある。

○出水の傾向

- ・平成13年台風11号のとき、安倍川では台風の接近にあわせて水位が上昇し、最接近時の2,3時間ほど前に出水がピークとなり、最接近後2,3時間は警戒水位より高い水位だった。大井川では台風の接近にあ

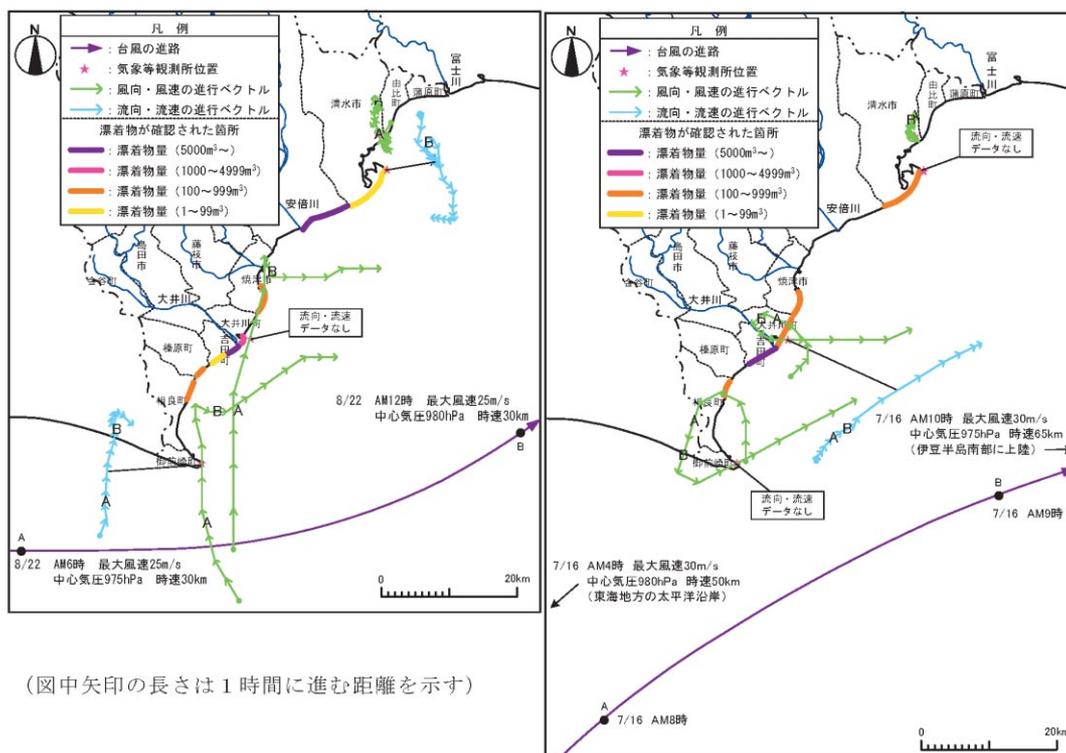


図3・1 台風が陸寄りの進路をとった場合の風速・沿岸流（平成13年台風11号、平成14年台風7号）

わせて水位が上昇し、最接近した頃に出水が警戒水位となり、その後は下降していた。

- ・平成14年台風7号のときにはほとんど水位上昇が認められなかった。駿河湾に生じる沿岸流は、複雑に変化する潮流の影響や波浪の影響を大きく受け、特に、駿河湾においては来襲する波浪の波向等の影響が大きいと考えられる。

3.2.2 台風が沖合の進路をとった場合

台風が沖合の進路をとった場合、各観測所における風向、流向及び河川からの出水量は以下の傾向を示す。特に、駿河海洋観測所における風況は、台風が岸よりの進路を取った場合と大きく異なる傾向を示す。

○風向

- ・清水における風向は、台風の接近や通過に関わらず北風となる傾向がある。
- ・駿河海洋観測所と御前崎港における風向は、台風が接近するにつれて、南東から北東にかわり、通過後は西風となる傾向がある。

○流向

- ・清水港における流向は、台風が接近しているときは南向き、通過後は北西向きとなる傾向がある。
- ・駿河海洋観測所における流向は、台風が接近しているときは北東向き、通過後は北西向きとなる傾向がある。
- ・御前崎港における流向は、台風の接近や通過に関わらず南向きとなる傾向がある。

○出水の傾向

- ・平成13年台風15号のとき、安倍川では台風の接近にあわせて水位が上昇し、最接近の12~13時間前には、警戒水位に達していた。その後、最接近した頃に出水がピークとなり、その後はゆるやかに下降していた。大井川では台風の接近にあわせて水位が上昇し、最接近時の2,3時間ほど前に出水量がピークとなり、その後は下降し、最接近時には、警戒水位を下回った。
- ・平成14年台風6号のとき、安倍川では台風の接近にあわせて水位が上昇し、最接近時の3,4時間ほど前

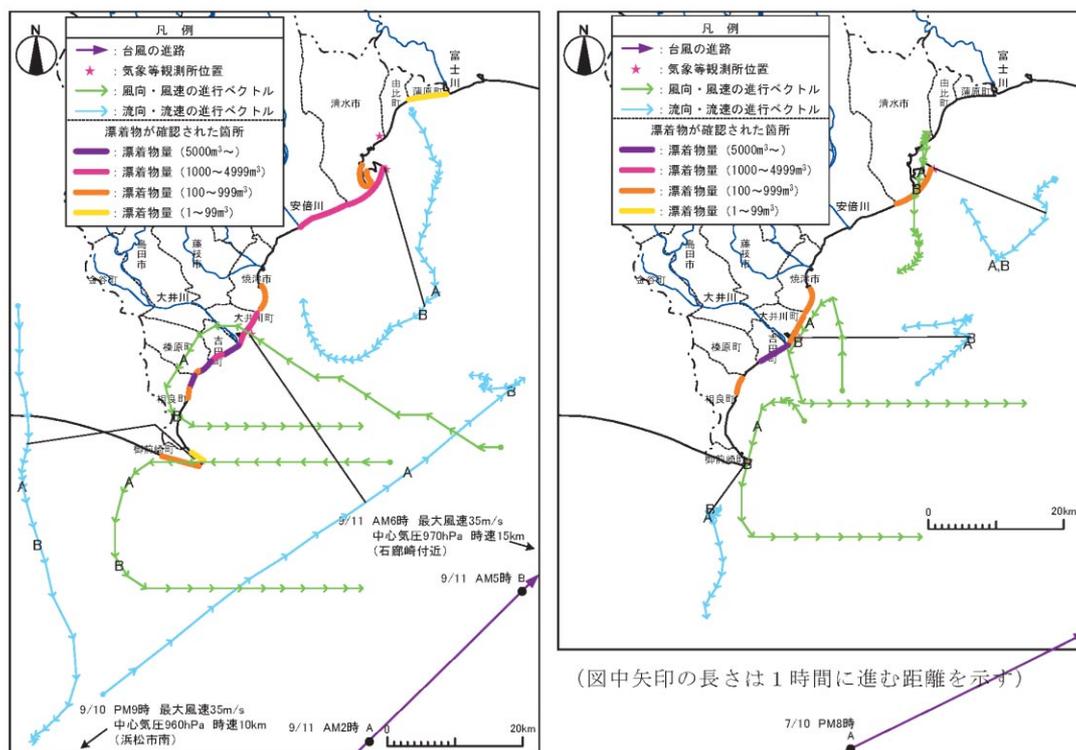


図3・2 台風が沖合の進路をとった場合の風速・沿岸流（平成13年台風15号、平成14年台風6号）

に出水がピークとなり、最接近後、5～6時間は警戒水位を上回っていた。その後は下降する傾向にあった。大井川では台風の接近にあわせて水位が上昇し、最接近した頃に出水が警戒水位となり、その後は下降する傾向にあった。当該地区の沿岸流の概況は、御前崎からは北向きの沿岸流が卓越するが、相良付近から大井川にかけては季節によって沿岸流の向きが変化する。大井川付近から安倍川、三保海岸を経て富士川付近までは、概ね北向きの沿岸流が卓越していると考えられる。なお、沿岸漂砂の流れは、この沿岸流とほぼ同じ傾向を示すことが知られている。

3.2.3 沿岸漂着物の漂着メカニズム

平成13年の2台風と、平成14年の2台風の進路や風向、流向、出水の傾向と漂着物の漂着傾向とを分析した結果、沿岸漂着物の漂着機構として、以下の項目が推定できる

- ① 安倍川からの流出物は、基本的には西方向の風や沿岸流により、静岡海岸～清水海岸へと運ばれるが、台風が接近するときに生じやすい東寄りの風の時に出水のピークが重なると、用宗海岸側に運ばれる可能性がある。
- ② 漂着物が海岸に堆積した状態で次の大きな波浪を持つ台風が来襲したような場合には、漂着物は風や沿岸流に運ばれて分散する。
- ③ 清水港及びそれより東の海岸では、安倍川から流出した漂着物が用宗海岸に漂着するのと同様の理由により、富士川からの流出物が漂着する可能性がある。
- ④ 大井川からの流出物は、現在開口部が西にあることから、吉田海岸に多く漂着するが、台風が再接近した後の西風や東向きの沿岸流によっては大井川海岸や焼津海岸に運ばれる。
- ⑤ 御前崎海岸、相良海岸、榛原海岸については、漂砂については西の天竜川の影響を受けるといわれているため、大井川から発生した漂着物が到達するとは

考えにくい。安倍川と用宗海岸の関係のように、風向や流向と出水とのタイミングによっては、かなり西側にまで漂着物を運ぶ可能性がある。

しかしながら、今回解析を行った4つの台風は、いずれも対象地区からみて東側を通過しており、このコースの場合は一般的には暴風雨の影響が少ないといわれている。したがって、今回のようなコースの分類での評価は、全体のコース、影響という点ではサンプル不足という面も否めない。また、河口と観測所の位置が比較的離れている安倍川河口については、その点についての留意が必要である。

さらに、今回の解析は風向、流向及び出水の傾向という3つの要素から漂着結果を検討したものであり、これから得られる結果を、台風の来襲動向を見越して直前に対策を講じるというようなものにはなり得ないと考えられる。

なお、今後データを蓄積していくことで、沿岸漂着物の移動経路の推定の精度を上げることができると考えられる

4. 沿岸漂着対策について

4.1 対策の視点

ここまで述べてきたように、漂着物の発生から漂着に至るメカニズムの一端を把握することが出来た。漂着メカニズムを的確に把握することで、沿岸漂着物による被害の低減対策を講ずることも可能となるが、前述の通り、沿岸漂着物の由来は多岐に渡り、この様な特性を有する沿岸漂着物の対策には、一つの方策で解決するものは少なく、幾つかの対策を複合させ、有機的に機能させていく必要がある。

ここで、対策手法を立案する視点としては、以下に挙げる6つの視点に着目して、広範な対策手法を整理した。

- ① 決流域の特性に応じた取り組み
- ② 多様な主体の連携・参加

- ③ リサイクル・バイオマス活用等の循環型社会の構築
- ④ 経済・社会情勢への的確な対応
- ⑤ 河川・海岸・港湾等における管理のあり方
- ⑥ 施策実施の時期

表4・1 対策手法一覧表

発生抑制	河道内樹木の取扱いの検討 溪流部で流出する恐れのある樹木の取扱いの検討 溪流侵食による流木の発生防止 倒流木の発生防止の啓発 刈草処理の徹底と活用 中小河川、排水路からの草本類の流出防止の徹底 管林など生産活動によって発生した木質類の管理と処分の徹底 一般住民の河川・海岸・港湾へのゴミ投棄の防止啓発
流下抑制	ダムにおける流木捕捉効果 砂防設備における流木捕捉機能の拡充 河道内に残留する流木等漂着物の処理と活用 河道内における流下抑制対策
回収処理利活用	漂着物の効果的な回収体制の確立 海岸の漂着特性に基づく漂着物捕捉・集積機能の活用 漂着物の回収機器や分別機器の開発 自治体の焼却施設の効果的活用と、小型焼却炉の導入 木質系の漂着物の製品としての利用の促進 エネルギーとしての木質廃材の利用検討 地域全体での木質廃材対策との連携による利用展開の検討
地域との連携	地域における連携・協働の仕組みづくり 住民参加型の河川・海岸・港湾づくり 環境保全の意識の醸成と河川・海岸・港湾の清掃活動による啓発 行政による効果的なNPO等住民団体への支援
その他(全般)	漂着物の回収、処理に関する経済的支援の強化 漂着物の有効活用に対する経済的支援の強化 漂着物に対する河川・海岸の維持・管理の充実

4.2 沿岸漂着物対策計画

ここに挙げた対策を実現させるためには、技術や制度の熟度などから困難な側面を現段階で有しているものも少なくないが、関与する主体同士の連携の有無、国の施策とのリンク等によって、実現に向けて具体的に動き出すことのできるものも少なくない。

「漂着物の発生しにくい流域づくり」、「漂着物の発生しにくく河川環境に優れた河川づくり」、「漂着物を処理・利活用しやすい沿岸域づくり」という3つの枠組みで整理した。

さらに、関連する各対策手法を以下の8つの視点でとりまとめ、全国的な漂着物対策への提言として整理した。

- ①流域で取り組むゴミ投棄防止への啓発活動の実施（沿岸域，流域）
- ②流域の焼却施設とも連携した漂着物の焼却処理手法の確立（沿岸域，流域）
- ③流域全体で取り組む木質廃材等の有効活用システム（バイオマス利活用協議会）の構築（沿岸域，河川，流域）
- ④流域での交流や市民活動の継続的な発展へ向けての取り組みの推進（沿岸域，流域）
- ⑤漂着物の発生しにくい溪流・河川管理の推進（河川，流域）
- ⑥住民と連携・協働した河川づくり（河川）
- ⑦漂着物の効果的な回収手法の検討（沿岸域）
- ⑧漂着物の発生しにくい海岸管理の推進（沿岸域）

5. おわりに

沿岸漂着物対策という広範な問題に対して議論を行うにあたって、実際に現地での様な現象が生じているかを把握し、さらに漂着特性について研究を行った。

具体的な発生・移動・堆積メカニズムを解明するには至らなかったが、台風等の外力と漂着物の関連については、定性的ではあるがその概要を把握することが出来た。今後は、データを蓄積する事によって、漂着物そのものを減少させることは難しいが、漂着物による被害を低減させるための方策、例えば、漂着物発生予測を出すことによって事前に船舶等を適切な箇所へ避難させるなどの被害軽減等に役立つ可能性を秘めている。

最後になりましたが、本研究にあたり、「総合的な沿岸漂着物対策検討委員会」委員長の東京大学磯部雅彦教授には、学術的な助言や、施策展開に関するアドバイス等、ご助言を頂きました。また、中部地方整備局企画部の各位には多大なご理解とご協力を頂きました。ここに謝意を表します。

河川環境総合研究所報告第9号

平成16年3月発行

ISSN 1344-2910

編集・発行 財団法人 河川環境管理財団 河川環境総合研究所

〒104-0042 東京都中央区入船一丁目9番12号 TEL 03-3297-2644 FAX 03-3297-2677

ホームページ『河川環境情報ステーション』 <http://www.kasen.or.jp/>

E-mail info@kasen.or.jp

印刷・製本 西印刷(株) 〒102-0093 千代田区平河町1-4-15 TEL 03-3263-5579 FAX 03-3239-4890
