

四万十川のにごり機構解析調査結果の概要

堀内 泰男・広橋 俊郎・藤村 茂夫

伊藤 瑞穂 (高知県下水道公社)・荒尾 真砂 (中央東保健所)

1 いきさつ

四万十川は川本来の原風景をとどめた河川として、高知県だけでなく全国的に高い関心が寄せられている。一方、日本の河川は大陸型の河川とは異なり清流で透明感のあることが特徴とされ、山紫水明と表現される日本の風土の一つの原点であったともいえる。しかし、下流域まで高い透明度を保つ河川は少なくなっており、四万十川も相対的に良好とはいえ透明度の低下が指摘されている。清流のシンボルともいえる清冽な透明感を低下させ河床泥増加の要因となるにごりの防止対策は清流保全上重要な課題であり、「清流四万十川総合プラン21」においても科学的調査と早急な対策の必要性を示している。このため、平成7～9年度に「四万十川にごり浄化機構解析研究会」を設置して、四万十川の全般的なにごり実態、広見川合流部で観察される「にごり境界」の実態について総合的な調査を行ったのでその概要を報告する。

2 にごり成分の定義

水そのものは無色透明であり、また水溶性の物質が溶け込んでも透明性は保たれ濁ることはない。水が透明性を失い濁った状態になるのは、水中の光が不溶性の微粒子（固体・液体・気体）によって無秩序な方向に進路を変えられる「光散乱現象」が生じる場合である。

光散乱現象は、「微粒子の粒径」や「光の波長」

と関係があり概略下表のように整理され、本調査では「にごり成分」を「粒径0.0001～2 mm (100～2×10⁶nm) の粒子群」と定義した。

3 にごり面から見た四万十川の概要

3-1 地質

四万十川流域は大部分が砂泥互層からなる四万十帯に属し、南から北へ地質年代が古くなり、北に位置する広見川流域、梶原川・四万十川の最上流部が白亜紀前期（1～1.2億年前）と最も古い。

にごり現象は地質の影響を受け、粘土やシルトなど微粒土質成分が多いほど「にごり成分」が供給され易くなる。微粒土質成分の割合は地質組成と風化度等で異なるが、四万十川は上流域の北方ほど古い地層のため、より長い風化作用を受け微粒土質割合も高いことが予想される。特に広見川流域は軟地質組成をもつ宇和島層群を含み、微粒土質が発生し易い地質環境をもつと考えられる。

3-2 地形

四万十川は、流域面積に比べ流路が長く緩い河川勾配をもつ。一般に勾配が緩い盆地状地形では、微粒土砂の堆積が地質年代的な長期に渡るため「にごり成分」の蓄積が予想される。四万十川流域では広見盆地・窪川台地が該当し、特に広見盆地は上記の地質年代の古さも加わって他地域よりも蓄積量が多い可能性が考えられる。

対象	寸法：mm(nm)	水のごり状況
可視光の波長	$4 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-4}$ (400～800)	--
水溶性物質 (低分子・イオン)	10^{-6} 前後 (1 前後)	透明
コロイド粒子	$10^{-6} \sim 10^{-4}$ (1～100)	波長域を中心に一部で光散乱が発生。 チンダル現象が生じるが透明性は残る。
にごり成分	$10^{-4} \sim 2$ (100～2×10 ⁶)	長期～短期にごり発生。
粗大粒子	2 以上 (2×10 ⁶ 以上)	粒子は急速に沈降し上澄み液は透明。

表 1-1 調査の全体構成

(1)四万十川のにごり実態調査	①自動濁度計による通年測定 ②透明度分布測定 ③河床上の濁り成分の沈降・掃流状況 ④にごり成分の生態系に及ぼす影響
(2)広見川水域のにごり実態調査	
(3)土地利用形態別濁り成分流出実態調査	
(4)にごりシミュレーションモデルの作成・検討	

表 1-2 本調査の粒径区分

区分	粒径 (mm)
粗砂	0.250 ~ 2.000
細砂	0.020 ~ 0.250
シルト	0.005 ~ 0.020
粘土	0.0001 ~ 0.005

4 調査の構成

調査の全体構成は表 1-1 の形に整理され、この順に報告する。

なお、本調査では前述のとおり0.0001~2mmの粒径範囲を「にごり成分」と定義したが、煩雑を避けるため表 1-2 に示す 4 種類の粒径区分に分類表示した。

粒径分布の測定法は、次の方法を採用した。

- (1) 粒径0.074mm 以上 ……「JIS ふるい分け法」
- (2) 粒径0.074mm 未満 ……「アンドレアゼンピペット法 (沈降法)」

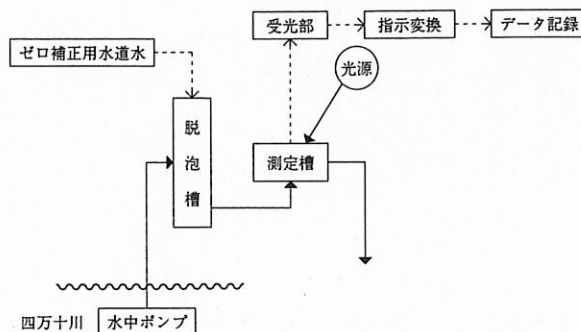
5 調査結果及び考察

5-1 四万十川のにごり実態について

5.1.1 自動濁度計による連続濁度測定結果

<方法>

- ①調査場所と期間 …… 西土佐村津大 (広見川合流後) にてH7.9月~H10.3月の間実施。
- ②自動濁度計仕様 …… 表面散乱光測定方式 (測定範囲: 0 ~ 20/200 ppm (2レンジ自動切替)) による1時間毎連続測定。



<結果>

①濁度概況

期間中の1時間毎データの整理結果を次に示す。

表 2 自動濁度計の毎時データ結果

	中央値	平均値	標準偏差	最大値	延時間
第1期 (H7.9~H8.3)	1.4	2.46	4.25	64.5	4,347Hr
第2期 (H8.6~H8.12)	2.0	5.48	14.45	205.6	4,575Hr
第1期~第2期合計	1.7	4.01	15.06	205.6	8,922Hr

濁度分布は低濁度側に分布の中心があつて高濁度側に裾が伸びた形であり、通常は1~2度の低濁度レベルで推移するが、降雨等により散発的に発生する濁度上昇のため平均値としては2~5度のやや高目側にシフトしている。また、標準偏差や最大値の大きさから濃度上昇幅のばらつきも大きいことが伺える。

期別では、第1期は冬季の少雨時期を含むため分布が低濁度寄りで、第2期は梅雨期を含み第1期に比べやや高濁度側にシフトしている。20度を超える高濁度の出現割合は、第1期が1%未満、第2期は5%と高くなっている。なお、濁度の最大値は日雨量が200mmを超えた台風豪雨時のものである。

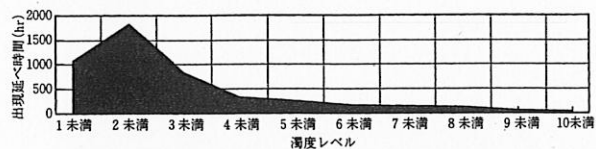


図 1-1 四万十川 (西土佐村津大) の濁度分布 (1)



図 1-2 四万十川 (西土佐村津大) の濁度分布 (2)

②公共用水域の水質監視結果との比較

本測定結果は、水質汚濁防止法に基づく公共用水域監視結果の濁度値（西土佐大橋のH7～8年度平均値：0.75mg/l）に比べ、やや高い値となっている。これは公共用水域監視業務が降雨影響の少ない低水時の測定を基準にしているため、降雨時の高濁度データが入っていないためと考えられる。

③濁度の推移パターン

濁度の推移パターンは、上昇時は急上昇し、下降時は上昇時よりなだらかに低下する傾向をもつ（図3参照）。この傾向を時間当たりの濁度増減速度分布（図2）としてみると、分布は濁度下降を示すマイナス側の出現時間帯が多く、出現時間の比率は濁度下降時：無変化：上昇時≒50：10：40となっている。

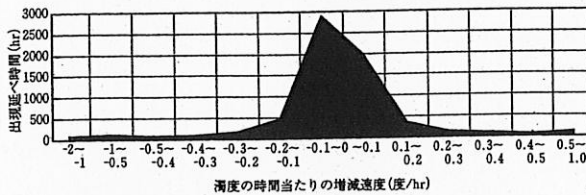


図2 濁度の時間当たりの増減実態（第1～2期）

一度上昇した濁度が平常状態に回復するには10日程度を要しているが、急激な回復や昼夜周期的なパターンなど人為的影響を示唆するものも見られた。（図3参照）

④降雨強度の影響

時間雨量5mm以下の散発的な小降雨では濁度は上昇しない傾向を示すが、無降雨時でも濁度上昇する場合があるなど人為的影響が想定される例外も見られた。

5.1.2 透明度分布

<方法>

透明度が低下する夏場を中心に、水深0.3～1.0mの平瀬で、セッキ板が水平方向に見えるようになる距離を測定した。

<結果>

河口からの距離を横軸にした透明度分布を示す。

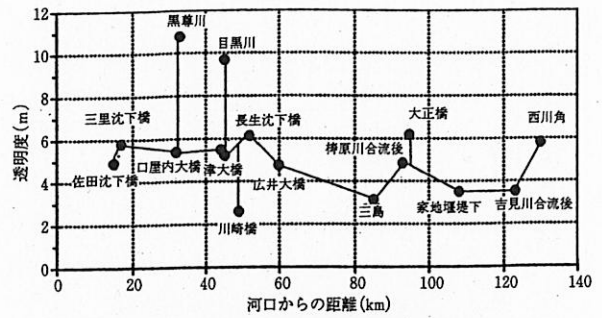


図4 四万十川流域の透明度分布 (H7～H8年の4回測定平均)

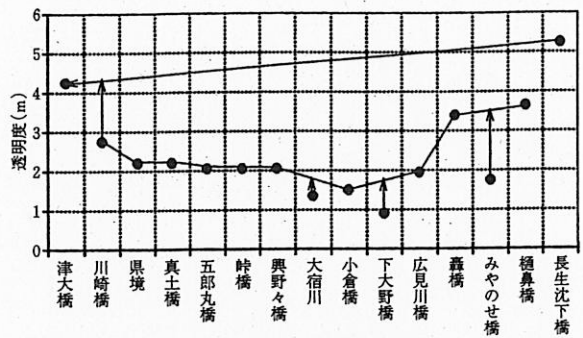


図5 広見川流域の透明度分布 (H9年2回平均)

①時間的变化

年月日の時間尺度により相当の変化がある。

②場所的变化

上流から下流への一律変化でなく地域環境を反映し変化している。

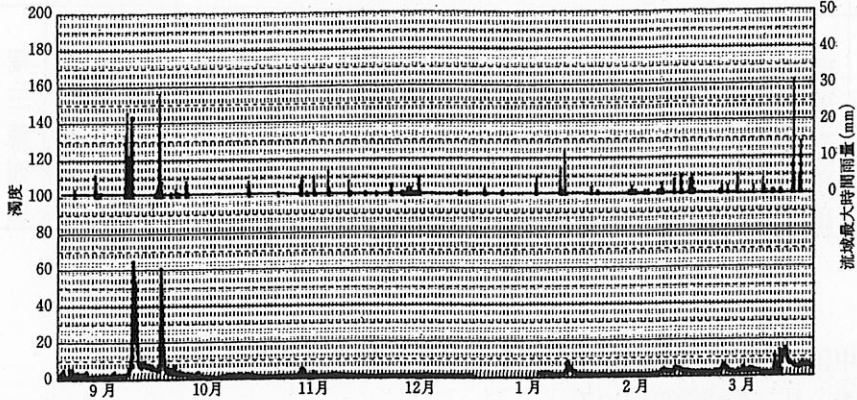
③分布から見た地域的特徴

- ア) 10mを越す高い透明度を持つ水域が現存。
- イ) 分布カーブが常に落ち込む区域があり周辺部からの影響が考えられる。
- ウ) 広見川水系の大部分は2m前後の低レベルで支川が低い傾向にある。

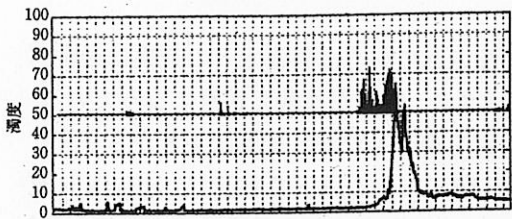
④河川流速との関係

人為影響の少ない河川では、基底流量の割合が高くなる低流速時に透明度が向上すると考えられるが、にごり問題のある川崎橋とその影響を受ける津大橋ではこの傾向は見られなかった。（図6）

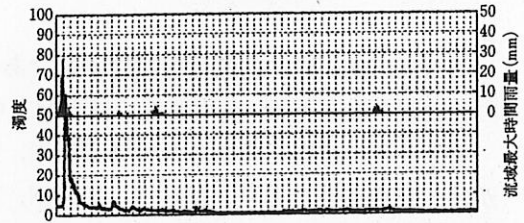
第1期全体 (H7年9月~H8年3月)



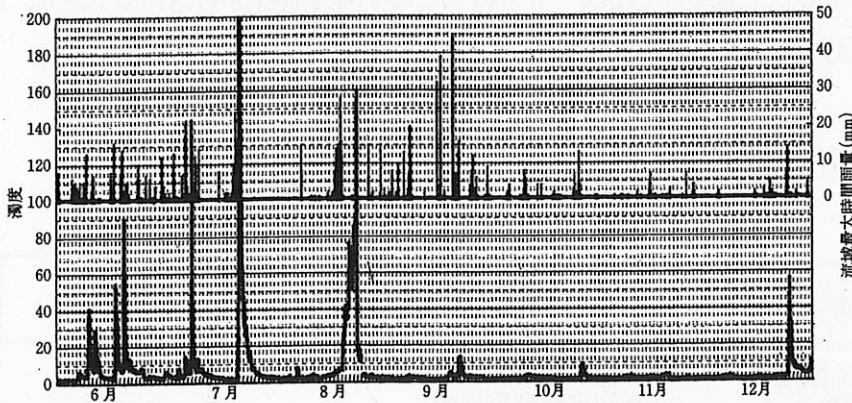
調査期間 (H7年9月)



調査期間 (H7年10月)



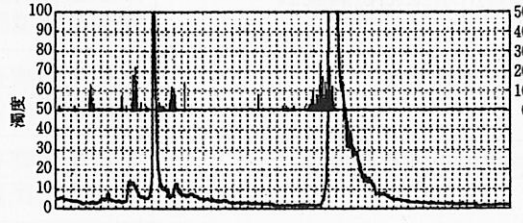
第2期全体 (H8年6月~12月)



調査期間 (H8年6月)



調査期間 (H8年7月)



調査期間 (H8年8月)



調査期間 (H8年9月)

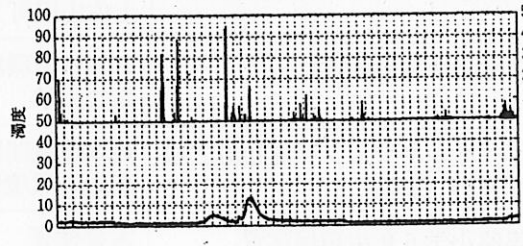


図3 自動濁度計による測定結果の事例

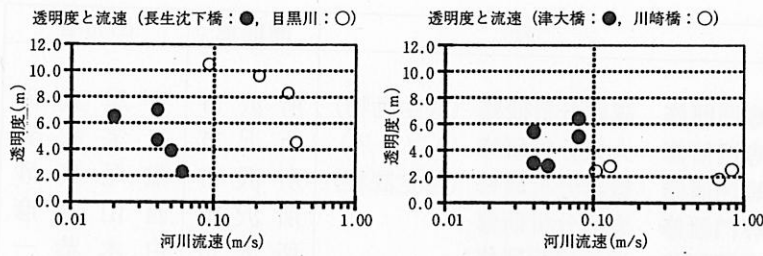


図6 濁度と河川流速の関係

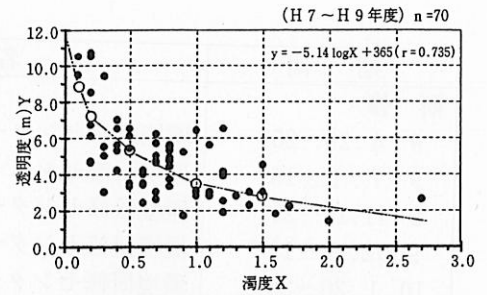


図7 透明度と濁度の相関

⑤透明度の指標価値

透明度と濁度の関係は、低濁度領域では濁度変化に対して透明度が敏感に変化する傾向にあり、透明度は清澄度の高い水環境において感度の高い清流指標となる可能性が示されている。(図7)

⑥透明度の測定方法による違い

透明度の測定は、セッキ板が水平方向に可視できなくなる距離を潜水測定する方法を基本とした。しかし、この方法は冬季の調査が難しく、H9年度からは反射鏡を使った簡易器具による非潜水調査も併行実施した。また、白色のセッキ板の使用により透明度が高目に偏移する可能性も考えられた為、黒色板による測定も併行して行い白色板との違いを確認した。

これらの各測定方法による測定差は次のとおり確認され、基本方法である(潜水+白板)と他の方法を比較すると次のとおり整理できた。

(透明度 2~10mの場合)

- (器具+白板) に対する誤差 …… ±0.3m以内
- (器具+黒板) に対する誤差 …… +0.1~+1.1m以内
- (潜水+黒板) に対する誤差 …… +0.1~+2.5m以内

従って、白色板を使えば潜水法と簡易器具法の測定差は±0.3m以内であり、測定法の違いは無視可能なレベルであることが確認された。白色板と黒色板を比較すると、いずれの測定方法でも黒色板の方が2~3割低めの測定値となる傾向も確認された。

X \ Y	透明度 (器具+白板)	透明度 (器具+黒板)	透明度 (潜水+黒板)	透明度 (潜水+白板)
透明度 (器具+白板)		y=0.75x +0.37	y=0.72x +0.74	y=0.94x +0.38
透明度 (器具+黒板)	r=0.950 (n=62)		y=0.91x +0.11	y=1.11x +0.01
透明度 (潜水+黒板)	r=0.904 (n=16)	r=0.936 (n=16)		y=1.30x -0.51
透明度 (潜水+白板)	r=0.966 (n=16)	r=0.924 (n=16)	r=0.948 (n=16)	

5.1.3 河床へのにごり成分の沈降状況・掃流状況

(1) 沈降状況

河床への「にごり成分」の沈降状況を見るため、河床沈降物の堆積量と組成を調査した。

<方法>

流域7カ所(本川5, 支川2)の水深0.1~0.5mの瀬で、バット(横330×縦230×深さ60mm)を周辺の河床面と同様な状態に固定放置のうえ、調査期間経過後バット内の堆積物を回収・測定した。調査はH7年12月~H8年1月(43日間)に連続して11日・20日・6日・6日の間隔で回収・更新を行った。

<結果>

①場所的分布(図8-1)

上流域の鍛冶屋瀬橋~天の川付近と下流域の橋付近に他地区より沈降量が多い傾向があり、周辺地域からのにごり成分の流入が考えられた。

分布的には中央部が低い凹型のカーブ傾向が見られ、中流域でにごり成分の流入が少ないことが示唆された。

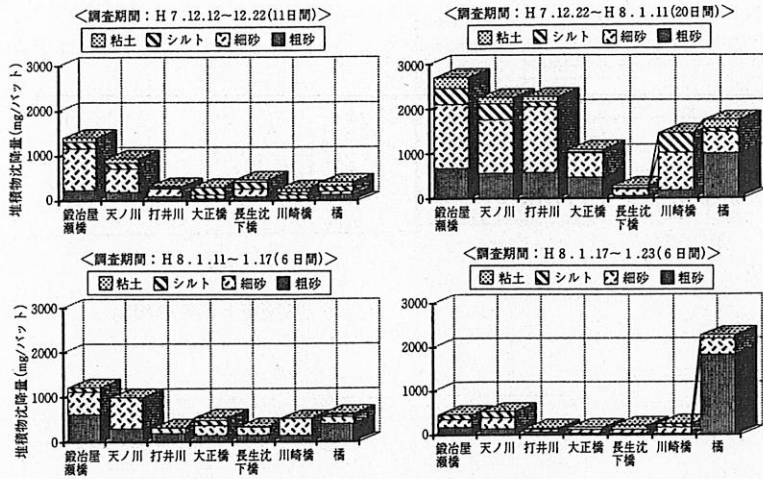


図 8-1 河床へのにごり成分の沈降組成

②時間的变化 (図 8-2)

調査前半 (H 7 年12月22日とH 8 年1月11日回収分) は降雨が少なく、後半 (H 8 年1月17日と1月23日回収分) は全域で日雨量20~40mm の中程度の降雨や数 mm 程度の小降雨がみられた。

降雨が少ない前半は細砂~粘土の割合が後半に比べ高く、非増水時には流れの急な瀬においても微小な「にごり成分」の河床堆積が進行していることが確認された。

後半の中降雨 (1月14~15日) の影響は1月17日のデータに現れると考えられるが、堆積速度 (日平均沈降量) は前半の降雨のない時期に比べ上昇傾向である。バットを設置した場所がいずれも瀬であるため増水時には堆積物は掃流され易いと考えられるが、堆積速度は反対に増加しており、瀬よりも流れの緩やかなトロ部や淵ではそれ以上の増加が予想される。

従って、四万十川の河床では日雨量20~40mm 程度の中降雨には、にごり成分の流入が掃流を上回り堆積物の増加に作用することが伺われ、河床の堆積物を洗い出すにはこれ以上の相当に強い降雨が必要なが推察された。

(2) 掃流状況

大雨増水時における河床沈降物の掃流状況を見るため、河床に攪拌条件を与え、発生する掃流物の堆積量と組成を調査した。

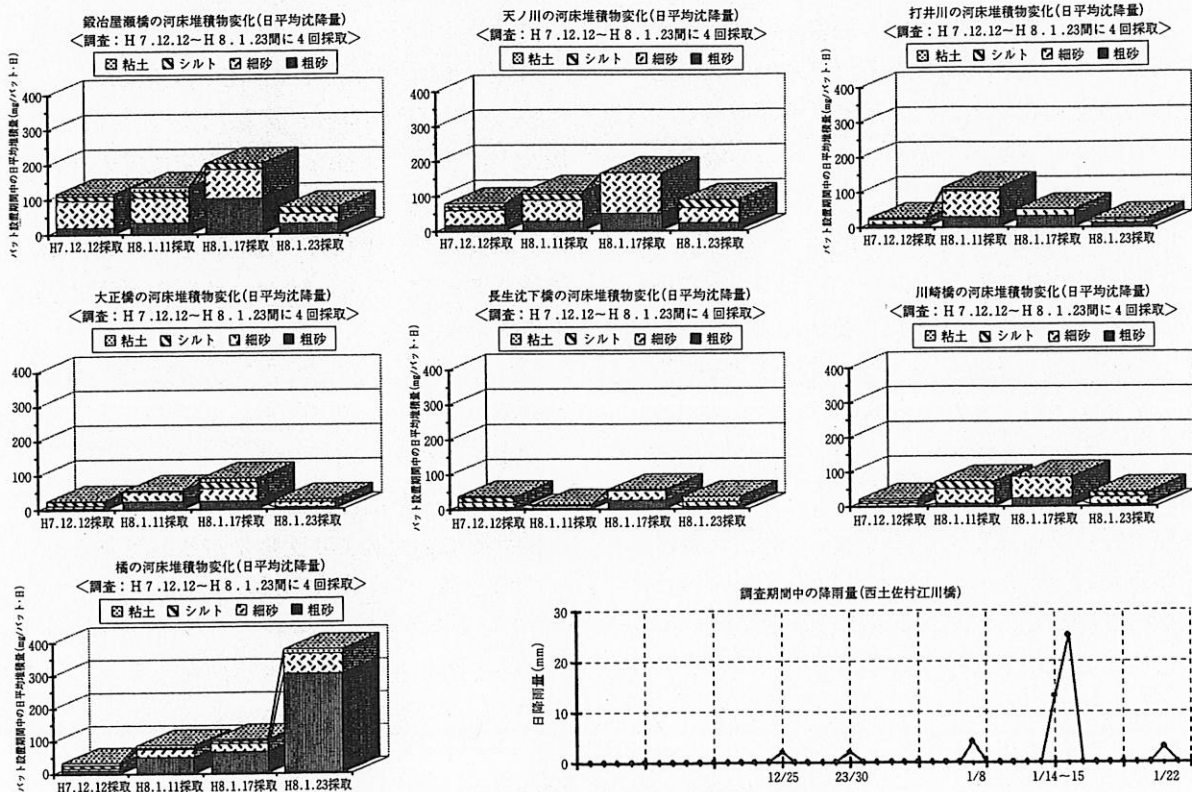


図 8-2 河床堆積物の日平均沈降量の推移

<方法>

流域8カ所(本川6, 支川2)の瀬で, 河床面に置いた円筒状ポリバケツ(300mmφ)内を手動で一定強度(時間降雨およそ60mm時の掃流強度相当)に攪拌し, 発生した浮遊物を採取。

<結果>

- ① 2回の調査結果では河床の掃流性堆積物の量は大きく変化しており, 前回増水時期からの間隔や, にごり成分の流下量の変化に対応していると考えられる。
- ② 掃流性堆積物の組成は, 全体傾向として細砂分(0.02~0.25mm)が多く堆積していた。
- ③ 鍛冶屋瀬橋~天の川では, 粘土・シルトの組成が他の場所より高かった。
- ④ 大正橋と長生沈下橋は, 他地域よりも掃流性堆積物が少ない傾向であった。

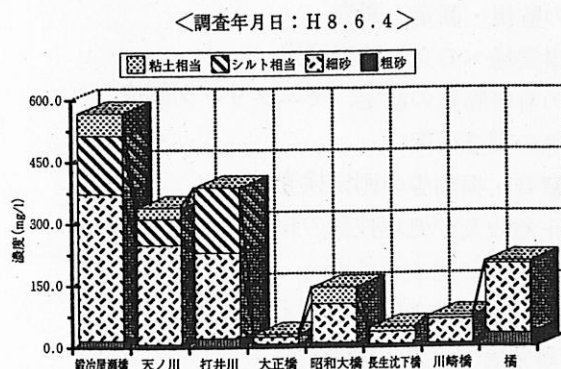
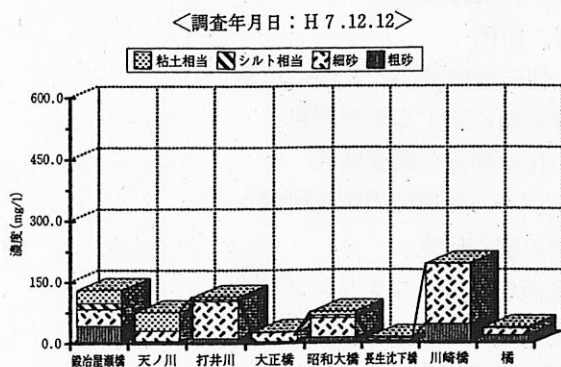


図9 河床上の掃流性堆積物の組成

5.1.4 にごり成分の生態系に及ぼす影響調査

河川のにごりは清流系の生態系を歪ませる要因になると考えられ, 評価体系が確立されている底生動物・付着藻類の調査によって, にごりから由来した河床底泥の生態系への影響を調べた。

5.1.4.1 底生動物調査

<方法>

底生動物には様々な生活形態があり, 川底の石の表面を這い回って表面に付着した藻類を捕食する「匍匐型」や, 細かいネットを張って流下してくる物を捕食する「造網型」, 砂や小石を使って営巣する「携巢型」, 「遊泳型」など多種である。これらの生活型の中には, にごりや河床泥の影響を敏感に受けるものがあり, その形態からみて「匍匐型」や「造網型」は影響を受け易いといえる。また, 体型構造の違いもあり, 急流下の石の表面にしがみついた状態で安定を保つヒメヒラタカゲロウやウエノヒラタカゲロウなどは底泥があれば機能が発揮しにくく, 逆にエラが外皮で保護されたエラブタマダラカゲロウはにごりに対して耐性的な構造をもつなどの差がある。

これらの生活型や体型構造の違いに着目し, にごりの影響状況を点検した。

①調査方法

金属枠(300×300mm)とサーバーネットを使って採取した。同定は種レベルまでを原則にして, 困難な場合は属・科レベルにとどめ分類した。

②調査場所

調査場所は, 長期のにごり発生が見られる広見川の川崎橋, 広見川の流入地点の上流域である長生沈下橋, 流入地点の下流になる橋の3地点とした。なお, 河床環境を共通化するため, 日当たりの良い早瀬・平瀬の石レキ底で水深がひざ程度の場所とした。

<結果>

①生物学的水質階級の判定結果

生物学的水質階級の判定結果, 並びに生物生息環境の良否を見る生物指数と多様性指数による評価結果を次図に示す。

3地点とも生物学的水質階級はosで生物環境的に良好な結果となったが, 「生物指数」と「多様性指数」の面から3地点を比較すると川崎橋がやや劣る傾向が示された。「生物指数」等は生物生息環境の良好さが生物の多様性につながることに着目したもので, これが川崎橋でやや劣ることは川崎橋には多様性を制限する要素が他の2地点に比べ存在する可能性を示唆している。

表3-1 底生動物相判定結果 (1995. 9月~1996. 6月)

判定法	地点 年月日	長生沈下橋				川崎橋				橋			
		1995. 9. 8	1995.12.12	1996. 3.26	1996. 6. 3	1995. 9. 8	1995.12.12	1996. 3.26	1996. 6. 3	1995. 9. 8	1995.12.12	1996. 3.26	1996. 6. 3
コルクビツツ法	os	18	25	21	18	15	18	16	22	22	28	28	22
	β -ms	8	7	7	7	10	6	5	9	8	9	8	7
	α -ms	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	ps	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
	不明	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2	2
	結果	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os
生物指数 (Beck & Tsuda 法)	A	18	25	21	18	15	18	16	22	22	28	28	22
	B	10	11	10	9	14	8	7	12	13	13	12	9
	指数	46	61	52	45	44	44	39	56	57	69	68	53
結果	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	
汚濁指数 (Pantle u. Buck 法)	指数	1.40	1.36	1.33	1.44	1.47	1.28	1.31	1.33	1.46	1.35	1.33	1.31
	結果	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os
最多出現種		アカマダラカゲロウ	ユスリカ科	セラクレア属	ヒゲナガカワトビケラ属	シロタニガワカゲロウ	シロタニガワカゲロウ	シロタニガワカゲロウ	コガタシマトビケラ	コカゲロウ属	ユスリカ科	セラクレア属	コガタシマトビケラ
2位出現種		コカゲロウ属	セラクレア属	ヨシノダラカゲロウ	コガタシマトビケラ	アカマダラカゲロウ	エルモンヒラカゲロウ	アカマダラカゲロウ	シロタニガワカゲロウ	オオシマトビケラ	プユ科	アカマダラカゲロウ	コカゲロウ属
最多出現種の水質階級*		os	os	os	os	os	os	os	β -ms	os	os	os	β -ms
多様性指数 (Shannon & Weaver)		3.50	3.88	3.72	4.16	3.44	2.77	2.77	4.02	3.64	3.61	3.75	4.08
判定結果		os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os	os

*ユスリカ科が最多出現種の時は2位の出現種によった。

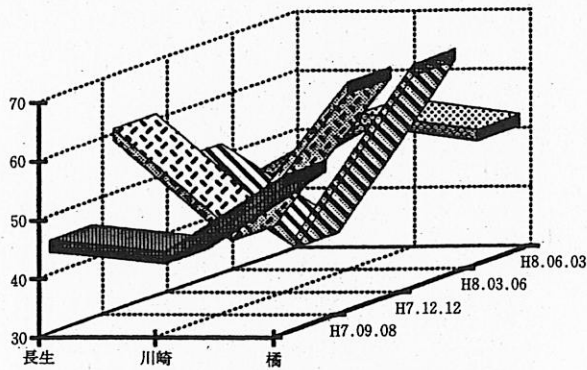


図10-1 生物指数による3地点の生物環境の比較

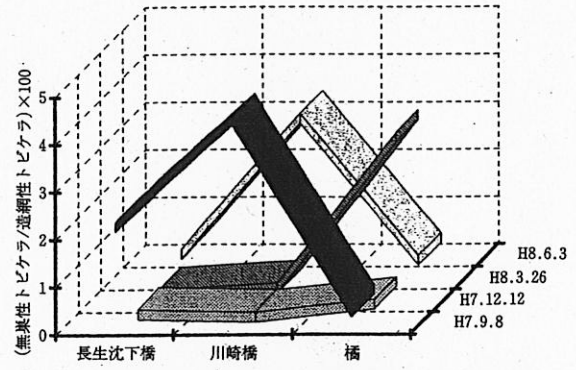


図11-1 非造網型トビケラと造網型トビケラの生息比率
〈現存量(重量)比較〉

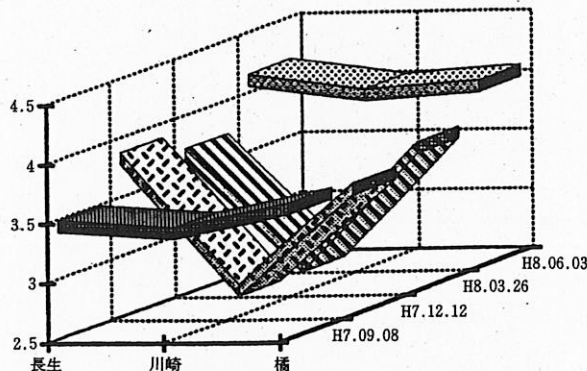


図10-2 多様性指数による3地点の生物環境の比較

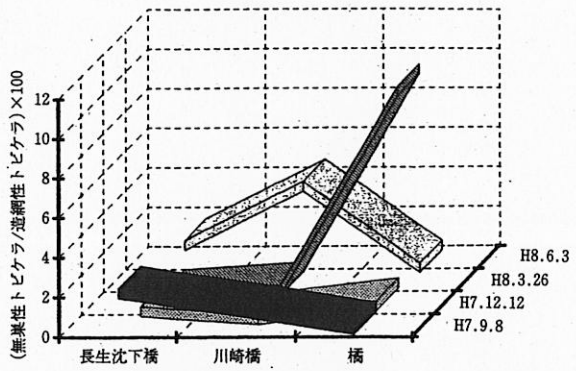


図11-2 非造網型トビケラと造網型トビケラの生息比率
〈個体数比較〉

②生活型の観点からの比較

トビケラ類のうちネットを造る「造網型」のヒゲナガカワトビケラやシマトビケラは、ネットを造らない「非造網型」のナガレトビケラ等

に比べ濁りや泥などの流下固形分のダメージを受け易い。この生活型の観点から非造網型と造網型の生息比率を見ると、単位面積当たりの生体重量である「現存量」について川崎橋の非造

網型比率が高い傾向（逆傾向のH 8.3.26は直前の降雨（70mm/日）による流下作用の可能性を考慮）が伺え、現存量ベースでは、川崎橋は濁りや泥に対して相対的に強い種がやや優位な生物環境になっている可能性が考えられる。

- 2. 窪川町天ノ川 (本川)
- 3. 大正町打井川 (本川)
- 4. 大正町大正橋 (傍原川)
- 5. 十和村昭和大橋 (本川)
- 6. 西土佐村長生沈下橋 (本川)
- 7. 西土佐村川崎橋 (広見川)
- 8. 西土佐村橋 (本川)

5.1.4.2 付着藻類調査

<方法>

水中の付着藻類は独立栄養生物として河川生態系の食物連鎖の主要位置を占め、四万十川の水産資源を支えている。しかし、河床の岩盤やレキ表面に付着し光合成により増殖するため、河川のにごりによる日光透過率の減少や底泥増加の影響を直接受けることになる。

そのため、河床付着藻類が、どの程度にごりの影響を受けているか生息実態を調査した。

①調査方法及び調査時期

流速のある水深20～30cmの早瀬～平瀬に川の流れと平行にレンガを置き、約1ヶ月ごとに10cm×10cm=100cm²の面積上の付着藻類を回収のうえ藻類の同定を行い、出現上位3種を優占種として評価を試みた。

調査時期は平成8年1月～7月の毎月1回（付着用レンガはH 7.12.12に設置）実施した。

②調査場所

- 1. 窪川町鍛冶屋瀬 (本川)

<結果>

平成8年1月～7月に行った全7回の調査結果を表3-2に示す。

全般的見ると、冬季の1月～3月の優占種は珪藻類の *Achnanthes japonica*, *Cymbella turgidula* v. *nipponica*, *Gomphonema quadripunctatum*, *Synedra ulna* 等であり、4月～7月にかけては藍藻類の *Homoeothrix janthina*, *Oscillatoria* sp., *Xenococcus* sp. 等が優占種であった。これら付着藻類による水質評価結果は、全調査地点においてOS（貧腐水性）の水質階級と判定され、流域では貧腐水性の藻類が優占していることが確認された。

にごりの観点からは、目視できる程度のにごりがある場合には、藍藻類の *Homoeothrix janthina* は極めて少なくなるか出現しなくなると思われ、これが優占種と確認されたことはにごりの評価上も好ましい結果と考えられる。

従って、にごり現象が問題になっている西土佐

表3-2 付着藻類 (0.1m×0.1m=0.01m²) による各地点の優占種順位

種類	調査地点							水質階級	汚濁指数	耐忍性
	鍛冶屋瀬	天の川	打井川	大正橋	昭和大橋	長生沈下橋	川崎橋			
藍藻類										
<i>Chamaesiphon</i> sp.		2	2	2	2	3	2 3			A
<i>Homoeothrix janthina</i> *	2 1 1	2 2 1 1	1 1 1	1 1 1 1	2 1 1	1 1 1 1	1 2 2 1 1	2 1 1	β-ms,os	1 A
<i>Oscillatoria</i> sp.	2 3 3 3	2 3	2 3 3 3				2	3 3		A
<i>Phormidium</i> sp.					3 3					B
<i>Xenococcus</i> sp.				2 2		2 2 2 2				
黄色鞭毛藻類										
<i>Hydrurus foetidus</i>							2			
珪藻類										
<i>Achnanthes japonica</i>	2 1 1 1 2	3 1 1 1 3	1 2 2	3 3 3 3	3 1 1 1 2 2	2 3 3	1 1	2 3 1 1	β-ms,os	1 A
<i>Cymbella turgidula</i> v. <i>nipponica</i>	1 1 2 3	2 1	2 1 3 3	2 2 1	1 1 2 2	1 1 1 3	3 2	1 1 1 2	β-ms,os	1 A
<i>Diatoma vulgare</i>							1 1		β-ms,os	1 A
<i>Fragilaria construens</i>		3						3	β-ms,os	1 A
<i>Gomphonema minutum</i>								3		
<i>Gomphonema angustum</i>							3	3	os	1 A
<i>Gomphonema quadripunctatum</i>	2 3 3	1 2 2	1 2 1	1 3 3		3	2 3	2 3	os	1 A
<i>Synedra runpens</i>					3				β-ms	2 B
<i>Synedra ulna</i>	3	3 3 3	3 3 2	3 1 2	2 2 3 3			3	β-ms	2 B
緑藻類										
<i>Scenedesmus</i> spp.								2		
<i>Stigeoclonium</i> sp.				2				3		B

* *Homoeothrix janthina* については糸状体数で判定した

村江川崎を含め全般に、藻類による水質判定に差が出るほどの影響は現時点では生じていないとの結果になった。但し、にごり発生源付近の局地的な実態は不明であり今後の課題である。

5-2 広見川流域のにごり実態調査結果

5.2.1 広見川合流部付近の3地点の水質比較

「にごり境界」が観察される広見川合流付近の上下流3地点を同時採水し、その影響実態を確認した。

<方法>

長生沈下橋（広見川合流前本川）、川崎橋（広見川）、津大橋（広見川合流後本川）で、オートサンプラーによる1日1回定時採水をH8年7月～H9年2月までの任意の計24日間実施した。

<結果>

濁度・SSの測定結果は、同時間帯において広見川（川崎橋）が最も高い傾向を示した。

また、本川の水質が広見川からの流入水によって影響を受けていることが、合流点の上流側（長生沈下橋）と下流側（津大橋）における濁度・SSの上昇傾向から伺えた。（図12-1～2）

長生沈下橋～津大橋の両地点間の距離は7kmと短く、本来ほぼ同じ水質変動をすると考えられるが、両地点間の濁度には同一時間帯で有意な差があり（危険率5%）、広見川の合流影響が推定された。

SSは、変動が大きく有意な差は確認されなかった。

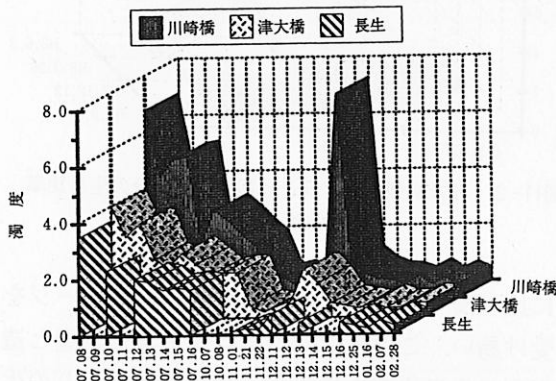


図12-1 3地点（長生・川崎橋・津大橋）の濁度推移
<調査期間：H8.7月～H9.2月>

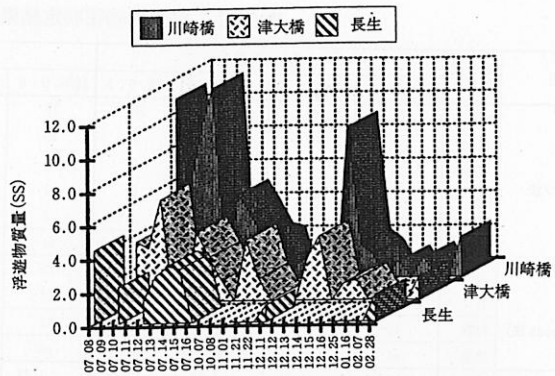


図12-2 3地点（長生・川崎橋・津大橋）のSS濃度
<調査期間：H8.7月～H9.2月>

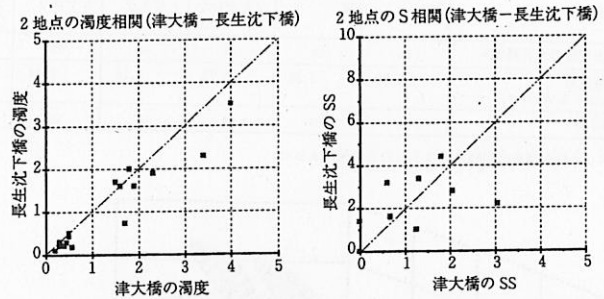


図13 広見川合流点の上流側（長生沈下橋）と下流側（津大橋）の濁度・SSの相関

5.2.2 広見川県境付近のにごり実態

県境付近の主要地点で、流水中の浮流「にごり成分」組成について調査した結果を次に示す。

調査タイミングとしては、数日から1週間前に20～30mmの降雨があった後、川崎橋でほぼ平常の水質状況に回復した時点であった。

(1) にごり濃度分布

場所別の分布を見ると、松野町真土の河川工事現場付近で「にごり成分」が増加し、県境から川崎橋へと流下するにつれて減少している。真土か

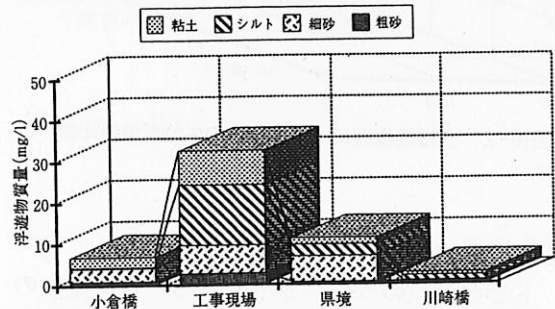


図14-1 広見川県境周辺の「にごり成分」の挙動
<調査日：H8.12.12>

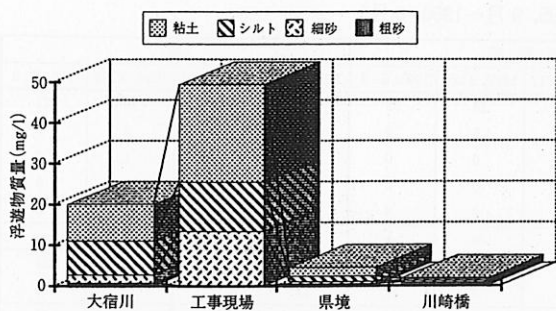


図14-2 広見川県境周辺の「にごり成分」の挙動
 <調査日：H 8. 12. 13>

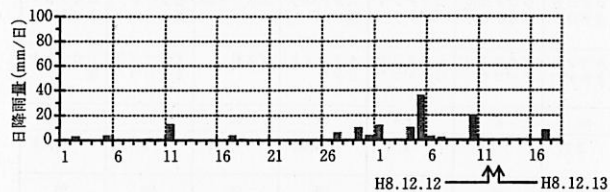


図14-3 広見町近永の降雨量 (H 8 年11~12月)

ら川崎橋の間には大きな支川流入はなく希釈作用も考えられないため、この間は「にごり成分」が河床へ堆積する区間になっていると考えられる。

合流付近の川崎橋では薄いにごりであっても、県境から上流にかけては相当のにごりを呈しており、特に本調査では工事濁水の影響が大きいことが伺われた。

(2) にごり成分の組成

組成面で見ると、四万十川流域に比べて粘土～シルトの微小成分の割合が高く、大宿川や工事現場(真土)では半分以上が微小粒径で占められている。

また、工事現場から県境にかけて粘土分が減少していることから、工事現場で発生した粘土分を中心とした微小成分は県境までの間で河床に堆積し、これが徐々に再浮流化することによって降雨後の長期にごりの要因を与えている可能性が示唆された。

5.2.3 広見川流域全体にごり実態

(1) 梅雨期のごり実態 (図15・図17)

H 8 年梅雨期の日雨量20mm 前後の降雨が間欠的に2週間以上継続した場合で、濃度分布は梅雨期の連続した降雨濁水の影響もあって場所による大きな差は見られないが、傾向的には出目(三間

川)～真土付近の濃度が高く、その上下流が低めとなっている。梅雨の中後半期は、連日の降雨濁水の流下により河床上へのごり成分の堆積量が増加し巻き上げも起こり易くなっていると考えられ、非降雨期のような一方的な河床への沈降による清澄化は進みにくいことが伺える。

組成は場所による違いが大きく、真土や出目(三間川)のシルト成分の多さが目を引く。

(2) 広見川増水時のごり実態 (H 8 年7月の台風による増水時) (図16・図17)

増水時の濃度レベルは多い場所では500～2,000mg/l 近い濁り成分が浮流し、平常時よりはるかに多い水量下での高濃度となっている。濃度分布はいくつかの支川で高濃度な状況が見られ、広見川上流部の日向谷川(面谷)・大宿川(小西野々)等が高い。組成面では、三間川(内深田)や上流部支川(日向谷川(面谷)・甲田), 下大野川の粘土～シルトの微小成分の多さが注目される。

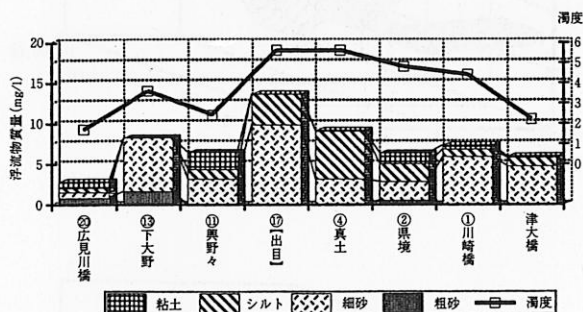
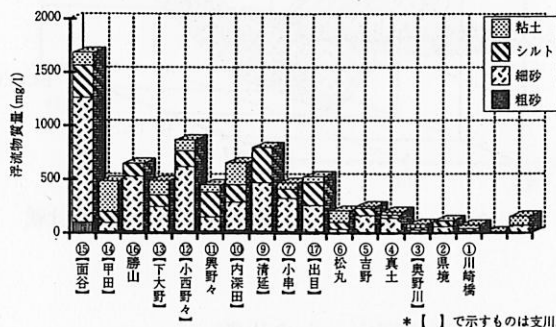


図15 梅雨期の広見川の浮流「にごり成分」組成
 <調査期間：H 8. 6. 25～6. 26>



* [] で示すものは支川。

図16 広見川の増水時の浮流「にごり成分」組成
 <調査期間：H 8. 7. 19>

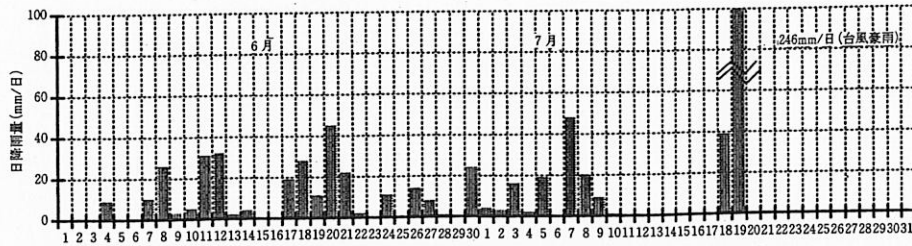


図17 広見町近永の降雨量 (H8年梅雨期)

5-3 土地利用形態別の「にごり成分」の流出実態調査

5.3.1 土地利用形態別の土壤サンプルによる「にごり成分」流出性調査結果

「にごり成分」の流出状況は土地利用形態による差が予想されることから、それぞれの土地形態別の土壤が保有している「にごり発生ポテンシャルの潜在傾向」を把握するため、土壤サンプルによる振とう試験を行った。

<方法>

土地利用形態別7種8ヶ所(表4)の表土について、200メッシュふるい通過サンプル20gを蒸留水2リットルで30秒間振とうし、10秒間静置後の中層水1.2リットルを検水として、濁度・粒度分布等を測定した。

表4 土地利用形態別土壤サンプルの採取状況

土地利用形態	採取場所	採取日	土色	水分(%)
水田	広見町延川	H9.05.01	茶灰色	35.0
畑	広見町轟	H9.05.01	茶黒色	14.2
裸地	窪川町川口区画整理地区	H9.05.01	茶褐色	15.4
天然林	大正町市ノ又	H9.05.06	黒褐色	36.7
人工林	大正町市ノ又	H9.05.06	黒褐色	33.9
道路面	広見町真土	H9.05.06	茶灰色	1.4
河原1	広見川真土橋下	H9.05.06	茶色	15.3
河原2	三間川峠橋下	H9.05.06	茶色	20.7

<結果>

①濁度・透視度・SS

濁度・透視度で見ると、水田土壤が最もにごり発生傾向をもち、天然林・人工林の土壤は発生させにくい傾向が示された。畑・裸地・道路

面は、その中間位置にある。河原土壤は場所による違いがあり、周辺流域の土地利用や河川形態による影響を受けることが示唆された。(図18-1)

SSについても、濁度・透視度とはほぼ同様の傾向を示している。(図18-2)

②にごり成分組成

組成面で見ると、微小成分の粘土は河原や水田土壤に多く含まれ、シルト分は水田土壤が最大で畑・裸地・道路面の各土壤が次ぐ結果となった。

天然林・人工林の両土壤とも細砂・粗砂の発生が大部分で、にごりへの影響度が高い粘土・シルト分は発生しにくい傾向が示された。(図18-2)

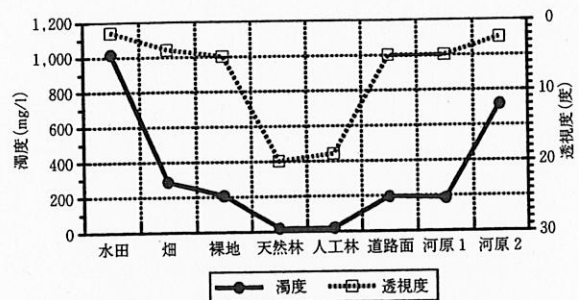


図18-1 土地利用別土壤サンプルの振とう試験結果 <濁度・透視度>

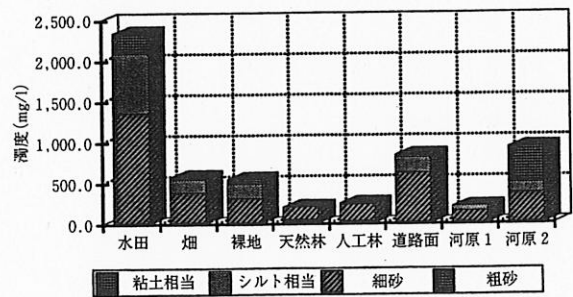


図18-2 土地利用別土壤サンプルの振とう試験結果 <SS・にごり成分組成>

従って、土地利用別に見た潜在的な「にごり発生ポテンシャル」は、水田が最も高く、畑や裸地が次ぎ、森林（天然林・人工林）が最も低いことが示唆された。

5.3.2 水田

土壌サンプルから見た潜在的にごり発生ポテンシャルが最も高い水田を対象に、にごり発生実態を調査した。

表5 田植え期の水田排水調査対象

no	耕作過程	採水場所	採取日
1	荒ぶせ後の排水(1)	高知県窪川町仁井田	H9.05.07
2	荒ぶせ後の排水(2)	愛媛県松野町吉野生	H9.05.01
3	代かき後の排水(1)	愛媛県広見町延川	H9.05.01
4	代かき後の排水(2)	愛媛県松野町吉野生	H9.05.01

<方法>

上の4ヶ所の耕作排水についてにごり成分組成を調査するとともに、田植え終了後の水田に張られた冠水のごり状況の経時変化を窪川町仁井田地区の水田を対象に事例調査した。

<結果>

田植え期には「荒ぶせ」と「代かき」の耕作排水が排出され、各排水のSS・濁度は1,000mg/l前後の高濃度であり、組成も粘土・シルト分の微小成分が5割前後を占めている。このため、田植え期の水田排水は河川へ局地的・一時的に影響を及ぼす可能性のあることが確認された。

一方、これらの排水は1年を通じた耕作過程の中で数回排出されるだけの一時的なものであるが、田植え後は冠水・静置されるため、田植え翌日にはSS・濁度は100mg/l前後となり、その後2～3日で10mg/l以下に急速に低下することが確認された。さらに、冠水状態のため降雨濁水も発生しにくいことが確認された。

従って、水田の耕作排水自体は高濃度であるが、その年数回排出される耕作排水を数日間静置して水抜きすることにより水田からの濁り負荷は相当に改善可能であることが示唆された。

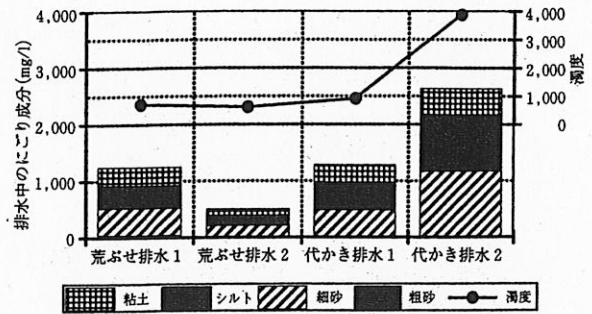


図19-1 田植え期の水田濁水性状

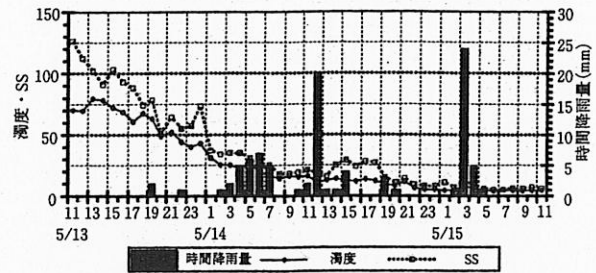


図19-2 田植え期の水田排水のごり性状
(場所：窪川町仁井田, 5/12田植え)

5.3.3 森林（人工林・自然林）

森林は土壌サンプルから見た潜在的にごり発生ポテンシャル自体は低いですが、流域面積の88%を占め、流域全体に与える影響は大きいと考えられるため、標高450～690mの大正町市ノ又溪谷風景林を調査対象にして人工林（ヒノキ24～25年生主体で面積6.9ha）と天然林（広葉樹主体で面積9.2ha）の濁り発生実態を調査した。

(1) 人工林・自然林の沢水の長期にごり比較

<方法>

「人工林」と「天然林」の調査区域内の沢にオートサンプラーを設置し、毎日定時（14時～15時）に沢水を採水のうえ1～2週間間隔で持ち帰り分析した。調査期間は、平成7年8月から平成8年9月の14ヶ月実施した。

表6 天然林・人工林の沢水の水質測定結果（H7年8月～H8年9月）

	天然林				人工林			
	濁度	SS	T-N	T-P	濁度	SS	T-N	T-P
中央値	0.7	1.0	0.36	0.013	0.65	1.5	0.19	0.015
平均値	0.78	1.98	0.41	0.013	0.74	2.52	0.20	0.016
標準偏差	0.519	2.587	0.303	0.006	0.446	4.157	0.079	0.009

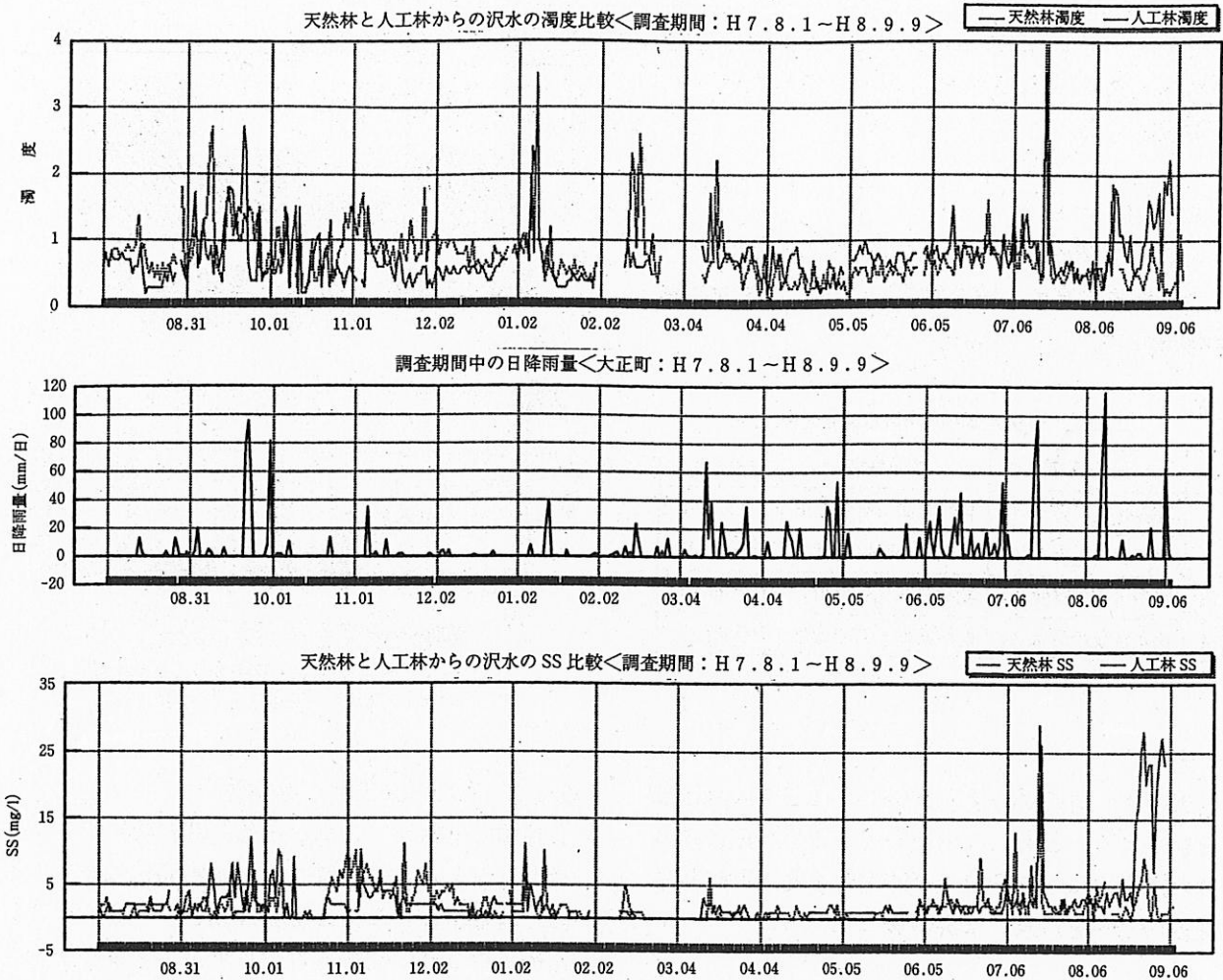


図20 天然林・人工林の沢水の濁度・SSの連続測定結果

＜結果＞

①全体傾向

調査期間全体の水質測定結果は表6及び図20のとおりであった。

森林から流れ出る沢水は天然林・人工林とも濁度1度未満・SS 2 mg/l 未満の年間中央値をもち、他の土地利用形態に比べ清澄な水を流出させていることが確認された。この清澄な水が流域全体88%から集まり、四万十川の基底水質を形成していることになる。

②人工林と天然林の沢水のにごり性状比較

本調査は、「天然林」と「人工林」の沢水を同日・同時間帯で採水しており、両者の毎日のデータを直接比較することにより、天然林と人工林のにごりに対する影響を比較評価できる。

両者の濁度とSS測定値についての相関図

(図21-1～2)によると、同日同時間帯では、人工林のSSが天然林よりもかなり高目に偏っていることがわかる。

両者のデータは同時サンプルのため対応性があり平均値の差の検定を行ったところ、両者のSS平均値には差があり、人工林が天然林よりも0.1～0.9mg/l (95%信頼限界)程度高めであることが確認された。

濁度については、両者に明確な差は見出せなかった。(危険率5%)

③降雨と沢水のにごりの関係

次に、人工林と天然林の沢水について、SS値と降雨量の関係を図示する。

これによると、人工林・天然林とも降雨量に対する強い相関は見られず、森林の地表は降雨の影響を全般的に良く吸収していることが伺えた。ただし、人工林と天然林を比較すると、天

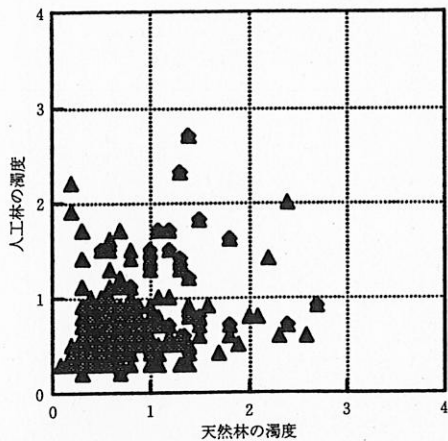


図21-1 天然林と人工林の沢水濁度比較
 <調査期間：H7.8.1～H8.9.9>

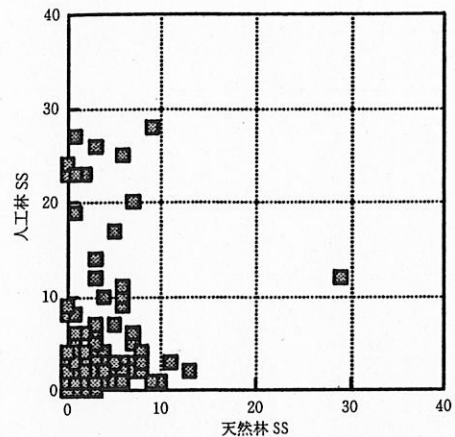


図21-2 天然林と人工林の沢水 SS 比較
 <調査期間：H7.8.1～H8.9.9>

然林の沢水は降雨量によらず10～15mg/l以下の範囲に集中しているのに対し、人工林は降雨量が無い或いはわずかでも15～30mg/lに上昇する場合があります、天然林の方がにごりに対してより安定傾向にあることが伺えた。

④季節的影響 (図20)

前述の調査期間全体の水質の推移パターンをみると季節的変動が伺え、特に天然林の濁度は夏場に低く冬場に高い傾向がある。これは広葉樹が多い天然林の落葉期間との関係が考えられ、冬場は落葉物からの腐植成分等の流出によって濁度が上昇するためと考えられる。但し、年間を通じて濁度は低めに推移しており、にごりとして問題になる程度のものではない。

また、落葉直後である11月～12月には、SS濃度も天然林の方が高めになる傾向も見られた。

⑤天然林と人工林の窒素・リン濃度比較

森林のにごりと直接関係ないが、人工林の沢水には天然林と比較して季節や降雨等によらず常に窒素分が少ない傾向が示されており、人工林での窒素の動向が注目される。(図21-5)

リンについては、窒素のような明瞭な傾向は見出せない。(図21-6)

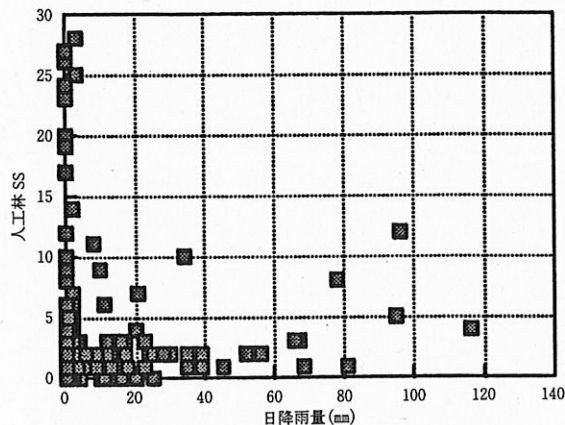


図21-3 人工林の沢水 SS と日降雨量の相関
 <調査期間：H7.8.1～H8.9.9>

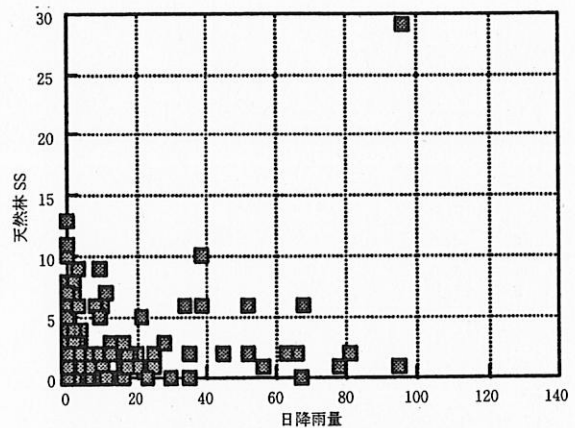


図21-4 天然林の沢水 SS と日降雨量の相関
 <調査期間：H7.8.1～H8.9.9>

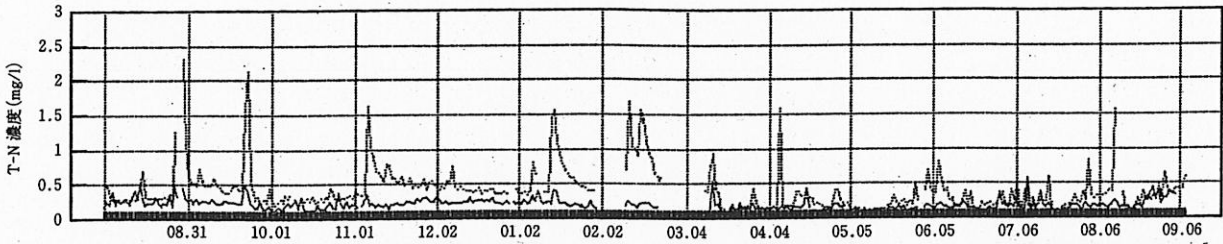


図21-5 天然林と人工林からの沢水の窒素濃度比較
 <調査期間：H7.8.1~H8.9.9>

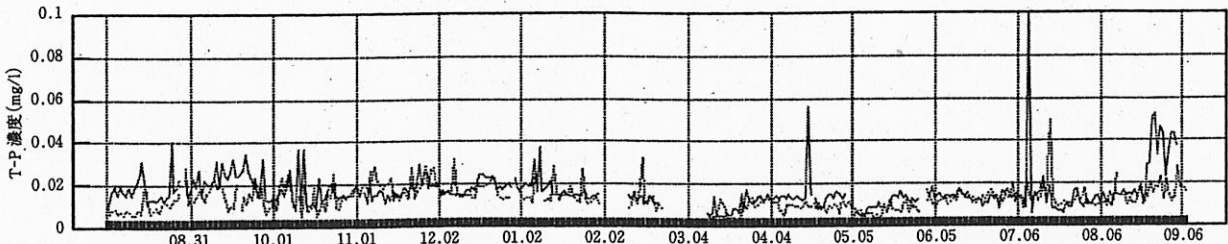


図21-6 天然林と人工林からの沢水のリン濃度比較
 <調査期間：H7.8.1~H8.9.9>

(2) 森林伐採地からの沢水のにごり性状

天然林と人工林ではSS濃度に若干の差が認められたものの、両者とも清澄な水の供給源になっていることが確認された。これは森林植生の寄与によるが、森林が伐採された場合は影響が大きいと予想されるため、次の森林伐採地における沢水のにごり性状調査を実施した。

<方法>

調査場所：西土佐村藤ノ川地区の人工林伐採地(皆抜区)の沢

調査期間：平成8年7月, 10月

*調査期間が3月離れているが、この間の植生回復はわずかであり降雨以外の条件はほぼ同一と考えられる。

<結果>

調査結果は次のとおり、通常の森林とは異なり降雨の影響を大きく受けることが確認された。

総雨量1mmと無降雨に近い10月7日~8日は濁度2mg/l・SS4mg/l程度で推移しているが、合計100mmの降雨があった7月19日~20日は濁度(平均9度, 最大42度)・SS(平均21mg/l, 最大116mg/l)とも大きく上昇している。このような降雨濁水は、周辺の溪流生態系に負担になることが懸念され、治山面だけでなくにごり防止の面でも皆抜方式の伐採は問題があることが確認された。

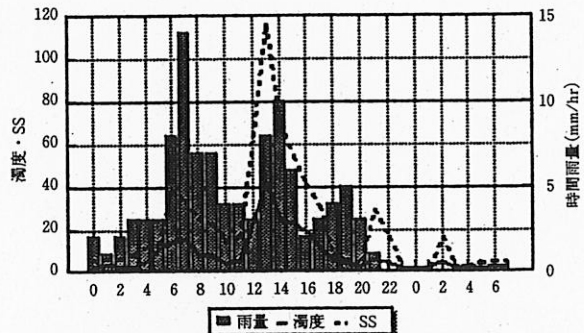


図22-1 伐採地(西土佐村藤の川)からの沢水のにごり性状
 <調査時期：H8.7.19~7.20>

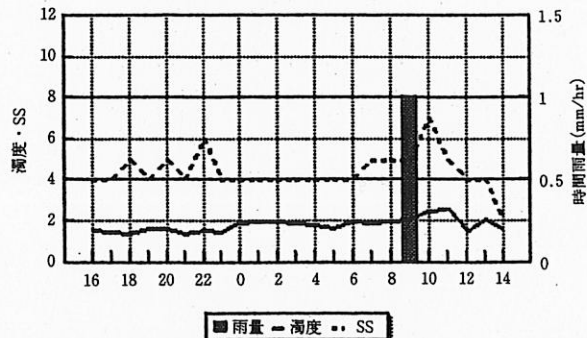


図22-2 伐採地(西土佐村藤の川)からの沢水のにごり性状
 <調査時期：H8.10.7~10.8>

5.3.4 裸地(土地区画整理後)排水のにごり性状

裸地排水の調査結果を次に示す。なお、今回調査対象とした裸地は土地区画整理工事終了から間もないもので、ほ場整備工事等の影響を評価する

場合の参考にもなると考えられる。

<方法>

調査場所：西土佐村下方の土地区画整理裸地からの排水
 調査期間：平成8年7月

<結果>

平均 3 mm/hr の雨が合計140mm 降った7月17日～20日の降雨により、濁度（平均101度，最大1000度）・SS（平均103mg/l，最大749mg/l）と大きなにごりの発生が確認された。なお、各最大値は測定開始時点の7月17日22時に記録されており、濃度ピークはさらに高い可能性もある。

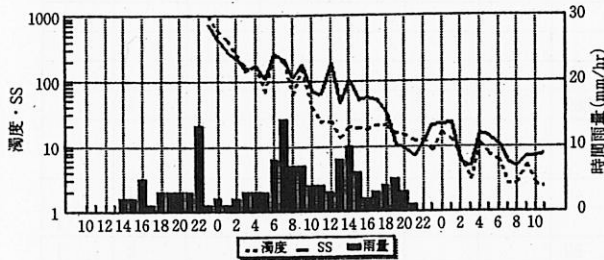


図23 裸地（西土佐村下方）排水のにごり性状
 <調査期間：H8.7.17～7.20>

また、濁度・SS濃度は最初の降雨ピーク以降、再度の降雨ピークの出現とは無関係に漸減しており、裸地排水はファーストフラッシュ現象が著しいことも確認された。

従って、土地区画整理やほ場整備等により表土状態が改変された裸地は、降雨の影響を非常に強く受け高濃度の濁水を排出する土地性格を持ち、降雨対策がきわめて重要であることが示された。

5.3.5 市街地排水のにごり性状

四万十川流域の市街地面積は全体の1%に満たないが、にごり負荷レベルを把握するため次の市街地排水を対象に調査した。

<方法>

対象市街地 …… 窪川町琴平地区（面積0.7ha）
 市街地構成 …… 病院・ガソリンスタンド・仕出し店等25戸，居住人口約100人

<結果>

市街地排水の濁度・SS濃度の変動は生活時間のパターンに強く依存しており、降雨の市街地洗い出しによる濃度上昇は生活パターンの変動に吸収される程度の低さであることが確認された。従って、市街地排水は従来どおりの生活排水対策を推進することで濁り対策も対応可能なことが確認された。

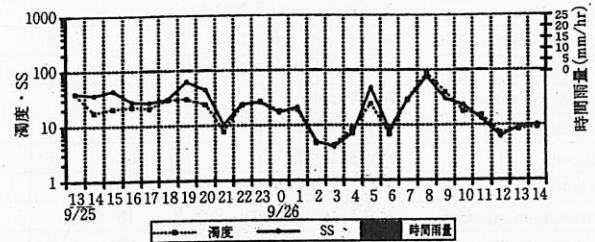


図24-1 市街地排水のにごり性状（H8.9.25～9.26）

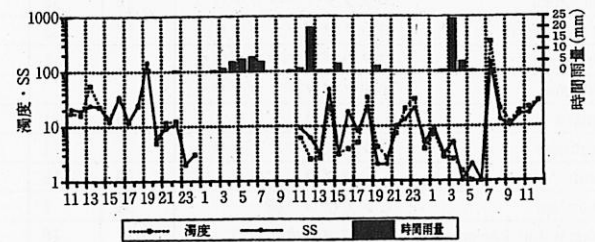


図24-2 市街地排水のにごり性状（H9.5.13～5.15）

5.3.6 河川工事の影響事例

河川工事は河川の直近あるいは直接の工事となり、河川の濁りへの影響は一般に大きくなる。次に河川工事の影響事例の調査結果を示す。

<方法>

対象河川 …… 藤ノ川（西土佐村）
 調査時期 …… 平成8年11月

<結果>

工事現場上流100mの河川水質は濁度・SS（浮流にごり成分）が検出限界付近の低レベルであるが、工事現場直下では濁度・SSが急増し、それより下流は漸減するという日常よく観察されるパターンが確認された。（図25）

その他、注目すべき点としては次の事項が考えられる。

- ① 工事により濃度上昇したSS分には、粘土や

シルトの微小成分が多い。このことは、前述の河原土壌サンプル調査において粘土成分の比率が高いケースがあることを考え合わせると、河川自体を直接対象とする河川工事の特殊事情として留意すべき点と考えられる。

②本事例は支川を対象にした調査であるが、下流1km 流下地点でも濁水の影響が及んでおり、河床への底泥堆積まで含め考えると河川工事の影響は相当広い範囲に及ぶことが示唆される。

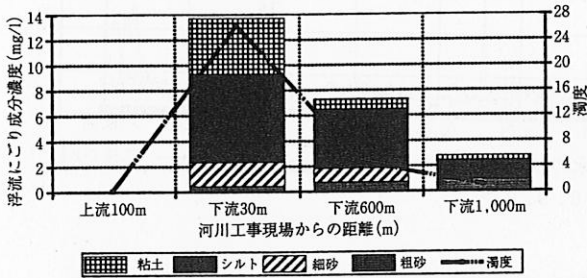


図25 河川工事の影響事例（西土佐村藤の川）
 <調査時期：H8.11.21>

5.3.7 事業場（碎石場）の影響事例

事業活動による影響事例として、降雨時の碎石場排水の調査結果を示す。

排水の影響が下流数kmまで及び、流水を濁らせるだけでなく、微小なシルト分を河床に堆積させている状況（流入点下流0.5~2.5km）が示されている。（図26）

一般に、碎石事業場では採石区域を覆っていた表土が採石ヤードの拡大に伴って蓄積し、また採石洗浄土砂のような微粒成分も発生するため、これらの処理如何では大きなにごり発生源となる可能性がある。四万十川流域は四万十帯の地質帯にあるため豊富な砂岩資源を有するが、四万十川の水質・生態系・景観等に調和した事業計画や環境対策等の配慮が必要なが示唆された。

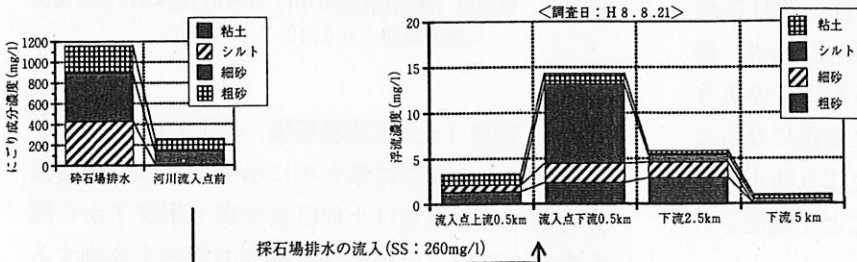


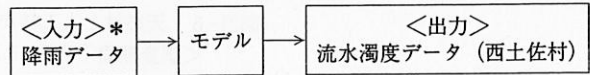
図26 降雨時の採石場排水の濁り調査事例

5-5 にごりシミュレーションモデル

次に、津大に設置した自動濁度計のデータを基に四万十川のにごりシミュレーションモデルを作成し、モデル特性から四万十川のにごりを評価する試みを紹介する。

5.5.1 シミュレーションモデルの概要

モデルは、入力データを流域降雨量合計値*として、西土佐村津大（自動濁度計設置点）における四万十川の濁度を出力データとしている。モデルの適用性の検証は、自動濁度計による観測データに対する再現性で評価した。具体的なモデル構成、その他条件は以下のとおり。



* 上流域の船戸、栲原、窪川、大正、江川崎、近永（愛媛県松野町）のアメダス降雨量

(1) 計算モデル

今回使用の計算モデルは「タンクモデル」と呼ばれ、本来は河川の流量解析に多用されるが、近年このモデルを使って降雨に伴う汚濁物質の量的変化を推定しようとする試みも種々報告されている。次に、タンクモデルについて「にごりモデル」として利用した立場から概説する。

モデルは数段のタンクを上下直列に置き、各タンク側面には高さ(h)・孔径(a)をパラメーターとする濁度出力孔、底面には下段タンクへ応答を伝えるための孔径(β)をパラメーターとする浸透孔を備える。最上段に入力データ（降雨量：u）を与えると、各タンクは図27のような応答をして、順次下のタンクへ応答を伝える。各タンク側面の濁度出力孔からの出力値の合計が求める「濁度計算値」となる。

各タンクのパラメーターは、濁度計算値と観測濁度データのうち典型的なパターンをもつもの（基準データ）を比較し、最も近似するケースを試行錯誤して最適値を決定する。

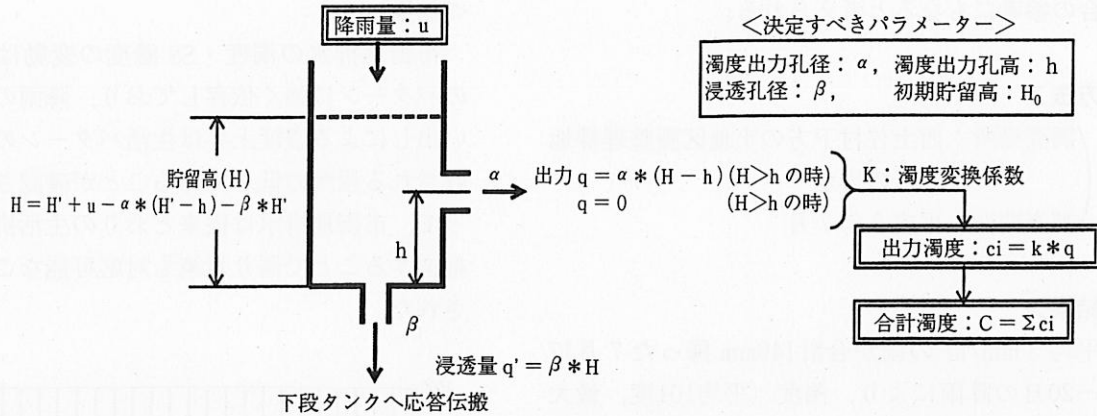


図27 タンクモデルの概要

(2) 今回のモデル構造 (タンク構成)

降雨出水時の濁度上昇期を主要対象とするため、洪水流出用に使用されることが多い右図の3段タンクモデルとした。

計算ソフトは、「ビジュアルベーシック」及び「エクセル」を使用した。

(3) タンク係数決定のための基準データ

降雨・濁度の両パターンが典型的なものとして、H 8年12月2日～12月10日に記録された降雨及び濁度測定値を基準データに採用した。試行錯誤の結果、各係数は図28のとおり最終決定された。

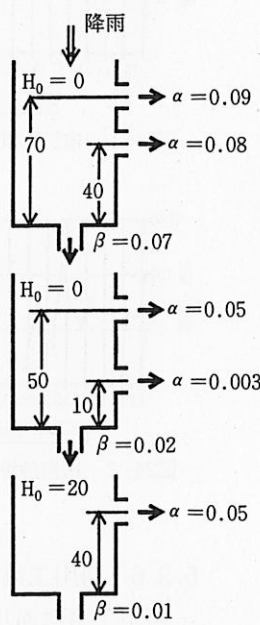
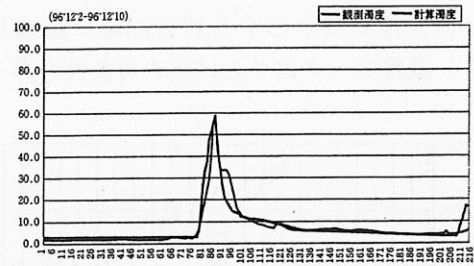
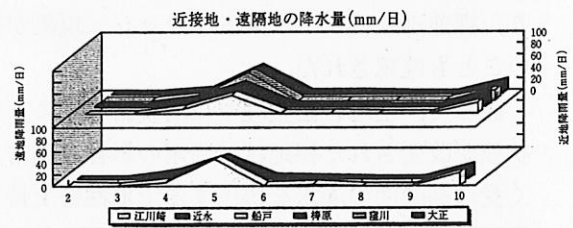
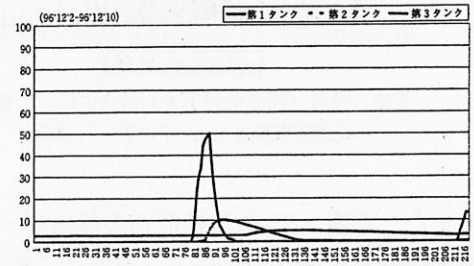


図28 採用モデル構成



*横軸は計算開始からの累積時間 (hr)



近接地… 江川崎, 近永 遠隔地… 船戸, 樽原, 窪川, 大正

図29 シミュレーションモデルによる基準データの再現性

5.5.2 基準データの再現性及びシミュレーション結果の事例

(1) 基準データの再現性

次に、基準データとしたH 8年12月2日～12月10日の濁度データに対する本モデルの再現性を示す。また、タンク別の出力濁度、即ち、表面流出濁度 (第1タンク)、中間流出濁度 (第2タンク)、基底流出濁度 (第3タンク) の各流出構成も併せて示す。

図29のように、計算濁度は観測濁度に対してピーク発生の時期・大きさ・形状など良い一致を示

している。流出構成についても、まず表面流出で濁度ピークが形成され、その後続く中間流出で濁度の漸減パターンが示され、さらに基底流出の状態へと移っていく様子が表されており妥当な姿になっている。

(2) シミュレーション結果の事例

次に、当該モデルによる出力結果の中から実測

濁度パターンに近似したものと、近似していないもの各1例を示して、モデルの適用性を検証する。

1) 近似事例

近似性の高い事例として、H8年6月3日～6月30日の結果を示す。

下図のように、実測結果と計算結果はピーク発生のタイミング・大きさ・形状など概ね良く一致している。但し、6月7日～9日(100～150時間)の降雨では実測結果がわずかな上昇であるのに対し、計算結果は明瞭なピークを示している。当該モデルでは、このようなケースは遠隔地に偏った降雨があった場合や人為的影響が付加された場合に、差が生じることが想定される。この場合は、船戸・窪川の遠隔地の降雨量がやや大きく、また堰による取水等の人為的影響の可能性も考えられる。

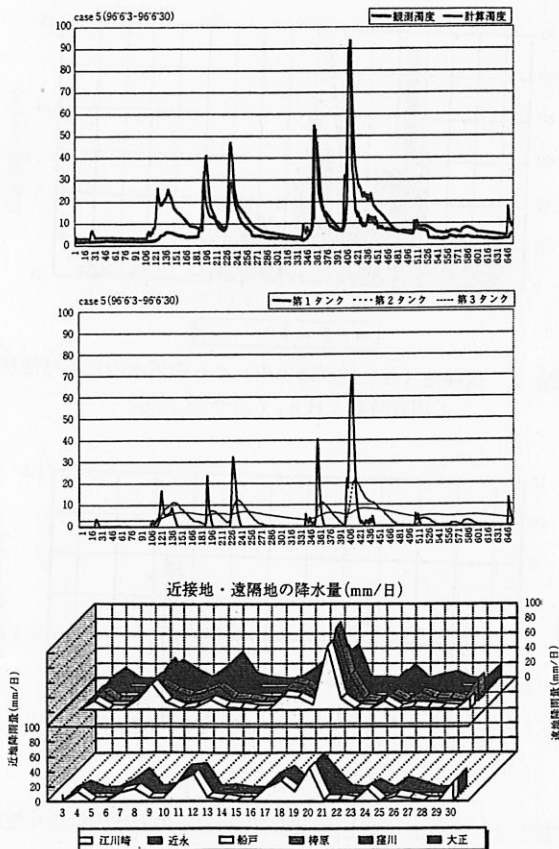


図30 シミュレーション結果の事例(1)―近似事例一

2) 非近似事例

次は近似性の低い事例として、H8年3月1日～3月25日の結果を示す。

実測結果と計算結果のピーク発生のタイミングは合致しているが、大きさ・形状が異なり計算値過大のケースとなっている。特に、3月15日には40～60mmの日降雨があったにもかかわらず、濁度ピークは短期かつ小さなものとなっている。

このように計算結果が過大となるケースには、前述のように遠隔地への偏った降雨や人為的影響が想定されるが、降雨量には顕著な遠近差は見られない。何らかの人為的な影響による可能性が強いと考えられるが、この解明には河川流量データ等の諸記録を突き合わせて因果関係を推定していく必要がある。

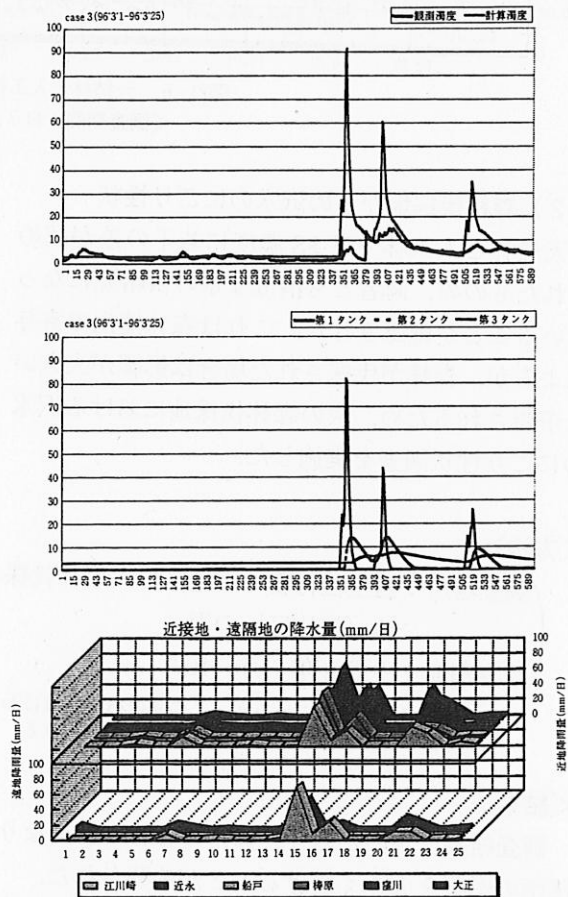


図31 シミュレーション結果の事例(2)―非近似事例一

このように、シミュレーションモデルを活用することにより、

- ①通常のにごり推移パターンとは異なる、異常ケースの探知
- ②異常ケースを探知したうえでの原因調査への即応

などが可能となり、河川管理の質的精度の向上に寄与することが期待される。

(3) 今後の課題

現行モデルは上記事例のように実測結果の再現性が十分ではなく、また費用対効果に優れた土地利用別対策を立案するような実用的モデル構造も持たせていない。

今後は、現行モデルを基に次のような再現精度の向上対策と機能アップを図ることが課題となる。

1) 入力データの改善

現行モデルの入力データは「各流域降雨の合計値」としているが、各降雨データに対する重み付け化あるいは河川流量データへの切り替え等により再現精度の向上を検討する。

2) タンク配列の検討 (1)

にごり影響の大きい広見川、人為操作性のある梶原川、流水の連続性が途切れる佐賀取水堰の上下流など異なる条件をもつ地域でブロック化するタンク配列の最適化を検討する。

3) タンク配列の検討 (2)

現行モデルは土地利用形態を反映させる構造を持たないため、土地利用別のタンクを並列配置させるなど流出解析用の一般モデルとは異なる独自構造を持たせたものへの改造を検討する。

6 本調査結果から考えられる四万十川のにごり防止対策

最後に、本調査結果全般から四万十川のにごり防止対策上、有効と考えられる対策案を列記する。

6.1 共通対策

- (1) 河畔植生の保護、河畔林の公有化の推進
- (2) 住民にごりモニター制度の検討

6.2 ノンポイント・ソース対策

(1) 森林対策

- ①人工林の間伐促進、複層林や混交林化の推進
針葉樹主体の人工林は広葉樹主体の天然林と比べて、SSが平均0.5mg/l程度高め傾向にあ

り、小差とはいえ四万十川の基底水質を与えるものとして重視される。今後の営林方針として提唱されている「針広混交林化」・「択伐方式による複層林化」・「集団間伐事業の促進」などの普及推進が保水力向上面だけでなく、濁り防止対策の面からも望まれる。

②皆抜方式を避けた伐採方法の普及

皆抜伐採は治山上の問題だけでなく、発生する降雨濁水のため下流の溪流環境等にも影響を及ぼす可能性が考えられ、皆伐方式を避けた伐採方法の普及が望まれる。

(2) 水田のにごり防止対策

田植え期に数回流出される耕作排水は高濃度で一時的に河川を濁らす原因となる可能性があるが、田植え後に冠水させた水の濁度・SSは数日で1/10以下の清澄さに回復し、また冠水後は降雨による濁水は殆ど発生しないことも確認された。

従って、水田対策としては、田植え期の荒ぶせ・代かきの各耕作排水を数日間静置して、にごり成分を沈降させた後排水する耕作方法の普及が望まれる。

6.3 ポイント・ソース対策

(1) 市街地対策

市街地排水の濁り性状は生活排水の影響が大きく、濁り対策上からも生排対策の推進が望まれる。

(2) 事業場 (採石場) 対策

採石場排水は採石表土等の管理如何では広範囲な濁り影響を与える場合があり、採石資源に恵まれた四万十川流域の採石場として最低限次の濁り防止対策が必要と考えられる。

- ①採石表土の管理徹底
- ②採石洗浄汚泥の適正処理
- ③適正規模の沈砂池設置と管理徹底

(3) その他事業場対策

- ①事業場排水対策の徹底
- ②事業場内側溝への沈砂柵、夾雑物除去網の設置促進。
- ③日常清掃活動、不要土砂・汚泥管理の徹底。

(4) 土木工事 (圃場整備、道路、河川工事) 対策

- ①工事中の裸地発生の抑制、速やかな裸地状態からの回復対策

②にごり抑制のための工法採用と、そのための
事前予算措置制度化

③工事現場から発生した「にごり成分」の除去

工事濁水の組成は微小粒子が多く、粘土～シルトまで除去する濁り防止対策が求められる。

ア) 粘土のレベルまで除去可能な対応…

工事中凝集分離装置の設置

イ) シルトレベルまで除去可能な対応…

適正規模の沈砂池の設置・管理

7 最後に

本調査は、四万十川の全般的なにごり実態、広見川合流部で観察される「にごり境界」の実態について総合調査することを目的としたが、これまでの不明部分や感覚的なとらえ方に留まっていた四万十川のにごり実態に数字的根拠を明らかにするなど所期の目的は一応達せられたと考えられる。この調査結果が各方面で活用され、四万十川並びに県内他河川のにごり防止対策に資することを期待したい。

一方、広大な四万十川流域を対象に天候に左右されながらの調査であったため、着手できなかった部分、特に、流量データとのリンク化、溶存態と微小個体間の変換過程の考慮、凝集・分散等による粒径変化の考慮など「にごり成分の全体物質収支の把握」に至る部分が未着手の課題として残された。物質収支まで含めた四万十川のにごりの全体像を把握するには、さらに多大な時間と労力が必要と考えられるが、今後も実際のにごり防止対策と並行して必要に応じた対応が望まれる。

最後に、3年にわたり真摯に御指導いただきました「四万十川にごり機構解析研究会」委員の諸先生方に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

四万十川<しぜん・いきもの>, 伊藤猛夫, 高知
市民図書館

地形学(自然地理学講座), 町田貞, 大明堂

河川汚濁のモデル解析, 國松孝男・村岡浩爾, 技
報堂出版

コロイド科学レクチャーノート, 前野昌弘, 日刊
工業新聞社

界面と界面活性物質, 鈴木洋, 産業図書

土を科学する, 岩田進午, 日本放送出版協会

日本工業規格, JIS-K0101

日本列島の誕生, 平朝彦, 岩波新書

河川の生態学, 水野信彦・御勢久右衛門, 築地書
館

「清流四万十川総合プラン21」基礎資料作成委託
業務報告書, (株)四電技術コンサルタント

河川工学, 室田明, 技報堂出版

建設省河川砂防技術基準(案), (社)日本河川協会,
山海堂

日本地質図大系(日本の地質総図), 通商産業
省地質調査所, 朝倉書店

「清流四万十川総合プラン21」, 高知県

日本地質図大系(中国・四国地方), 通商産業
省地質調査所, 朝倉書店

〈参考資料〉

四万十川にごり浄化機構解析研究会設置要領

(設置)

第1条 この要領は、四万十川にごり浄化機構解析研究会（以下「研究会」という）の運営について必要な事項を定める。

(目的)

第2条 研究会は、四万十川におけるにごりの発生、及び防止対策並びに、にごりによる河川生態系の保全について研究することを目的とする。

(構成)

第3条 研究会は、別表に掲げる学識経験者による委員をもって構成する。

(任務)

第4条 研究会は次の事項について研究する。

- (1) にごり発生機構に関する事
- (2) にごり成分河床堆積機構に関する事
- (3) にごり発生予測モデルに関する事
- (4) その他、研究会の目的を達成するために必

要な事項に関する事

(座長)

第5条 研究会に、座長を置く。

- 2 座長は委員の中から互選する。

(会議)

第6条 研究会の会議は、文化環境部長が招集し、会議の議長は座長がこれにあたる。

- 2 会議には必要に応じて委員以外の者の出席を求め、意見を聞くことができる。

(費用弁償等)

第7条 研究会の委員に対し、研究会への出席等にかかる費用について、旅費、報償費を支給する。

(庶務)

第8条 研究会の庶務は、文化環境部四万十川対策室で処理する。

(雑則)

第9条 この要領に定めるもののほか、研究会の運営等に関し必要な事項は、研究会に諮って決めるものとする。

(別表) 四万十川にごり浄化機構解析研究会構成

委員氏名等	所属・専門分野等	在任期間
今井 嘉彦 (座長)	高知大学名誉教授 (環境科学)	H 7.4 ~ H10.3
岡村 眞 (委員)	高知大学理学部教授 (地質学)	H 7.4 ~ H10.3
古屋八重子 (委員)	水生生物研究家 (水域生態学)	H 8.3 ~ H10.3
田淵 隆一 (委員)	森林総合研究所四国支所 (森林環境)	H 8.4 ~ H10.3
伊藤 猛夫 (委員)	愛媛大学名誉教授 (水域生態学)	H 7.4 ~ H 8.3
竹内 郁雄 (委員)	森林総合研究所四国支所 (森林環境)	H 7.4 ~ H 7.11
森貞 和仁 (委員)	森林総合研究所四国支所 (森林環境)	H 7.12 ~ H 8.3
調査実施機関	高知県環境研究センター	H 7.4 ~ H10.3
事務局	高知県四万十川対策室	H 7.4 ~ H10.3