

2 調査方法

(1) 対象河川と地点

要因を複雑化させないため集落やダム等の影響ができるだけ少ない河川・地点として、次の3水系4地点を対象とする。

- ①安芸川橋の木橋
- ②物部川日の出橋
- ③上葦生川安丸橋（物部川第1支川）
- ④新荘川高保木堰

(2) 調査対象期間

公共用水域監視が開始された1971年（S46年度）から1997年（H9年度）までの27年間。

なお、72年・75年は個表データが入手できなかったため欠測扱いとした。

(3) 河川水温の重回帰分析方法

流況安定時の河川水温がどのような因子で決定されているか検討するため、次の7項目を説明変量の候補として重回帰分析した。

①目的変量 Y

河川水温（データ源：公共用水域水質測定結果書（'71～'97年））

②説明変量 X_i の候補項目，データ源

河川水温に影響を与える可能性のある要素をなるべく広く点検し、その結果に応じて説明変量を絞り込むという作業手順とするため、説明変量間で高い相関がある際に考慮し

なければならない多重共線性の問題は一応除外して、表1に示す項目を説明変量候補とした。

(4) 河川水温の長期経時変化傾向の確認

- ①水温測定値の時系列変化（移動平均法，EPA法）
- ②水温標準偏差値の時系列変化（移動平均法，EPA法）

(5) 使用統計ソフト……「エクセル統計」

3 調査結果

3-1 河川水温の重回帰分析結果

目的変量の河川水温に対して、表1に示した7項目の説明変量候補について、最も当てはまりの良い組み合わせを変数増減法により絞り込んだところ、表2～3の結果を得た。

説明変量として、月平均気温 (x_2) が全地点で採用された他、測定時気温 (x_1) は新荘川高保木堰を除く3地点で採用された。一方、流域人口 (x_4)・林業従事戸数 (x_5)・針葉樹林面積 (x_6) は全地点で除外された。

なお、重回帰式を①～②式に2種類示す場合は、対象地点の流域環境の特徴を考察するうえでの参考とするため、②式に説明変量項目を多めに採用したものを付記した。

表1 説明変量候補一覧

候補項目	記号	候補理由	データ源
測定時気温 (°C)	x_1	短期の被曝温度環境	公共用水域水質測定結果書
月平均気温 ¹⁾ (°C)	x_2	中期の被曝温度環境	気象年表 (対象地点直近の測定局データ)
月間降雨量 (cm)	x_3	河川流況の指標	気象年表 (対象地点直近の測定局データ)
流域人口 (百人)	x_4	人為的排出熱量指標	林業センサス (10年毎調査結果を年比例配分)
林業従事戸数 (戸)	x_5	森林管理水準指標	林業センサス (10年毎調査結果を年比例配分)
針葉樹林面積 (km ²)	x_6	林相の影響指標	林業センサス (10年毎調査結果を年比例配分)
広葉樹林面積 (km ²)	x_7	林相の影響指標	国勢調査結果

注1) 月平均気温は瞬間データである測定時気温に比べ中期的な温度状況を示しており、保水・滞水環境において曝された温度環境レベルの指標と位置づける。

注2) 流域人口から広葉樹林面積までは対象地点の上流域部分に限定したデータが入手困難なため、関連市町村単位のデータとした。

表2 重回帰式および精度等

地 点	重 回 帰 式	決定係数	ダービンワトソン比	分散分析結果
安芸川 桁の木橋	① $Y = 0.377x_1 + 0.467x_2 - 0.51$	0.95	1.89	1%有意 ($p = 0.000$)
	② $Y = 0.387x_1 + 0.456x_2 + 0.039x_7 - 4.19$	0.96	1.94	1%有意 ($p = 0.000$)
物部川 日の出橋	① $Y = 0.464x_1 + 0.256x_2 + 1.60$	0.92	2.19	1%有意 ($p = 0.000$)
上斐生川 安丸橋	① $Y = 0.463x_1 + 0.199x_2 + 1.80$	0.92	1.67	1%有意 ($p = 0.000$)
新莊川 高保木堰	① $Y = 0.482x_2 - 0.032x_3 + 10.52$	0.70	1.62	1%有意 ($p = 0.000$)
	② $Y = 0.094x_1 + 0.389x_2 - 0.035x_3 + 10.24$	0.71	1.60	1%有意 ($p = 0.000$)

表3 回帰係数評価データ一覧

		測定時気温 x_1	月平均気温 x_2	月間降雨量 x_3	広葉樹面積 x_7	定 数 項	
安 芸 川	桁の木橋 ①式	偏回帰係数	0.377	0.467		- 0.51	
		標準偏回帰係数	0.464	0.536		-----	
		T 値	10.434	12.055		1.528	
		P 値	0.000**	0.000**		0.129	
		単相関係数	0.951	0.958		-----	
	桁の木橋 ②式	偏回帰係数	0.387	0.456		0.039	- 4.19
		標準偏回帰係数	0.475	0.523		0.036	-----
		T 値	10.706	11.744		1.938	2.202
		P 値	0.000**	0.000**		0.055	0.029*
		単相関係数	0.951	0.958		0.078	-----
物 部 川	日の出橋 ①式	偏回帰係数	0.464	0.256		1.60	
		標準偏回帰係数	0.660	0.334		-----	
		T 値	14.432	7.315		4.673	
		P 値	0.000**	0.000**		0.000**	
		単相関係数	0.941	0.890		-----	
上 斐 生 川	安丸橋 ①式	偏回帰係数	0.463	0.199		1.80	
		標準偏回帰係数	0.705	0.287		-----	
		T 値	15.702	6.401		5.734	
		P 値	0.000**	0.000**		0.000**	
		単相関係数	0.946	0.878		-----	
新 莊 川	高保木堰 ①式	偏回帰係数		0.482	- 0.032	10.52	
		標準偏回帰係数		0.902	- 0.135	-----	
		T 値		17.411	2.609	25.158	
		P 値		0.000**	0.010**	0.000**	
		単相関係数		0.830	0.348	-----	
	高保木堰 ②式	偏回帰係数	0.094	0.389	- 0.035		10.24
		標準偏回帰係数	0.197	0.727	- 0.149		-----
		T 値	1.690	6.271	2.851		14.606
		P 値	0.093	0.000**	0.005**		0.000**
		単相関係数	0.789	0.830	0.348		-----

3-2 河川水温の長期経時変化傾向

(1) 河川水温の経時変化

水温測定結果について、移動平均法（年間平均測定回数が6回のため平均区間も6回単位とした。）とEPA法により時系列変化を見た結果を図2～図9に示す。

原データは季節変動を繰り返しているが、移動平均値の推移、EPA法で季節変動等の変動因子を除いたTC曲線や各種傾向線は、概ね横這い状態になっている。

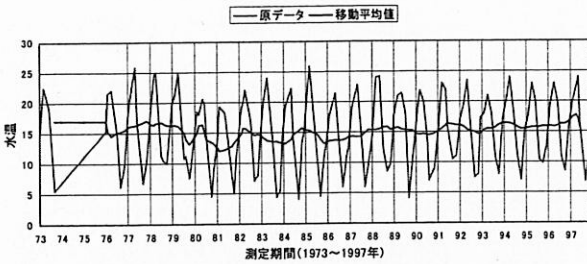


図2 栃の木橋の水温時系列変化（移動平均法：区間6回）

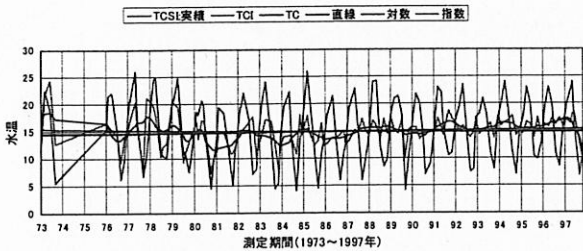


図3 栃の木橋の水温時系列変化（EPA法）

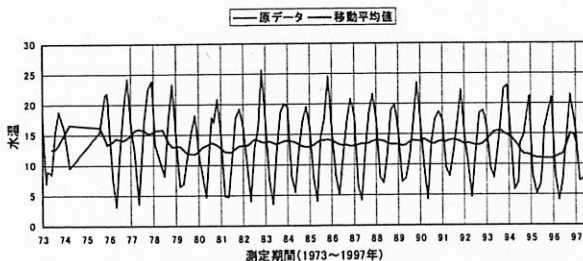


図4 日の出橋の水温時系列変化（移動平均法：区間6回）

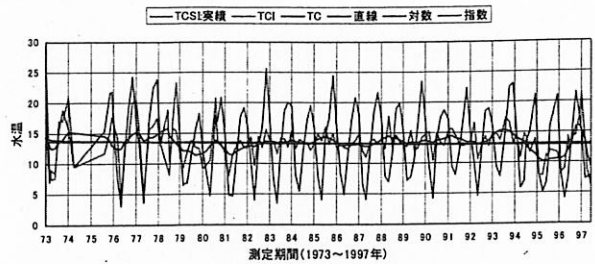


図5 日の出橋の水温時系列変化（EPA法）

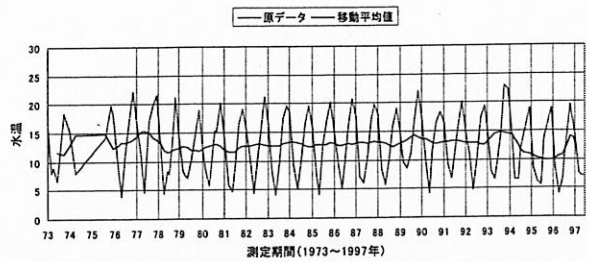


図6 安丸橋の水温時系列変化（移動平均法：区間6回）

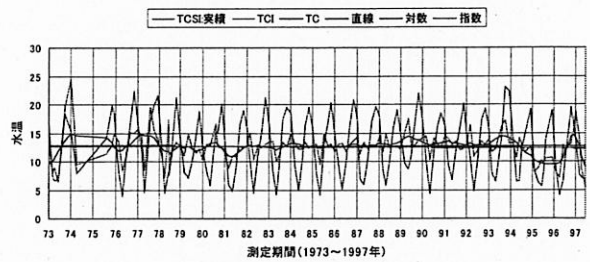


図7 安丸橋の水温時系列変化（EPA法）

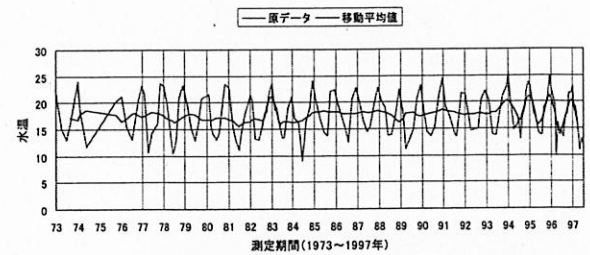


図8 高保木堰の水温時系列変化（移動平均法：区間6回）

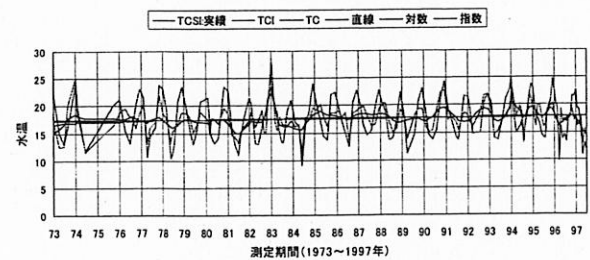


図9 高保木堰の水温時系列変化（EPA法）

(2) 河川水温の標準偏差値（前12回測定分からの移動算出値）の経時変化

河川水温の変動は、地温の影響を受けた中間～基底流出水の割合が年間を通じて高いほど小さいと考えられ、水温変動の大小傾向から当該河川における基底流水の流入状況を伺うことができ、流域の保水環境を評価する指標となる可能性が考えられる。

ここでは水温変動の指標値として、水温測定値の標準偏差値（水温測定結果の時系列データを基に各時点の前12回データ分から移動的に算出）を選び、この水温標準偏差の時系列データを移動平均法（平均区間 $n = 6$ 回）とEPA法で経時傾向を見た。その結果は図10～17のとおりで、(1)の水温とは異なり、全地点で低下傾向が示された。

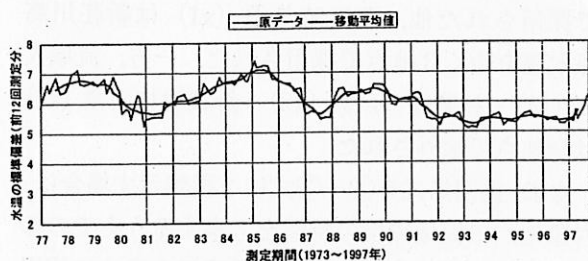


図10 柵の木橋の水温標準偏差の時系列変化
(移動平均法：区間=6回測定分)

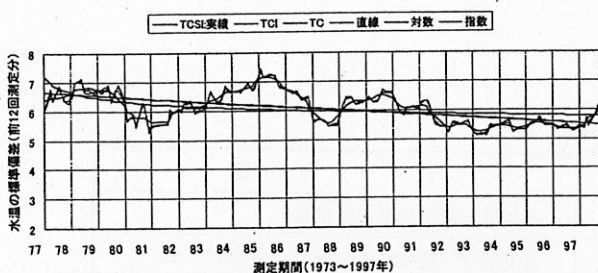


図11 柵の木橋の水温標準偏差の時系列変化 (EPA法)

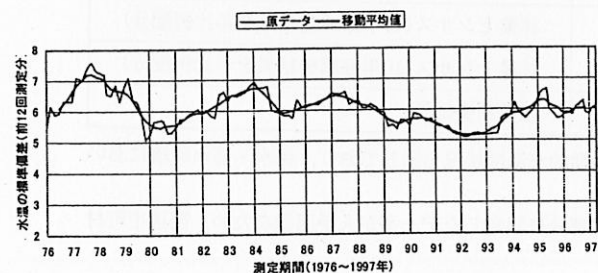


図12 日の出橋の水温標準偏差の時系列変化
(移動平均法：区間=6回測定分)

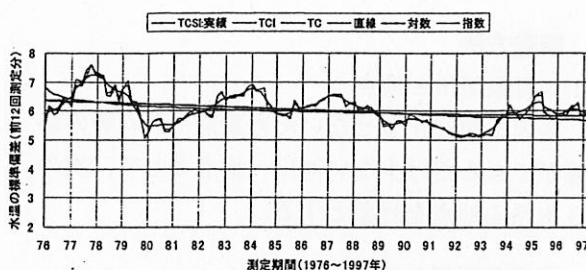


図13 日の出橋の水温標準偏差の時系列変化 (EPA法)

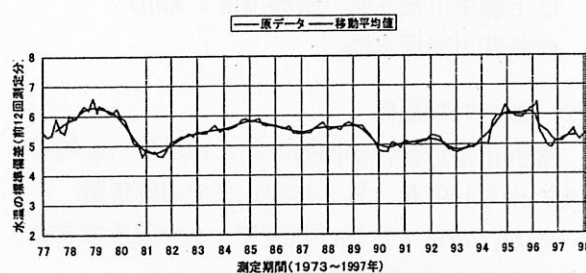


図14 安丸橋の水温標準偏差の時系列変化
(移動平均法：区間=6回測定分)

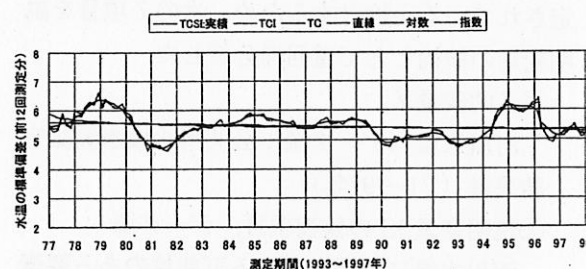


図15 安丸橋の水温標準偏差の時系列変化 (EPA法)



図16 高保木堰の水温標準偏差の時系列変化
(移動平均法：区間=6回測定分)

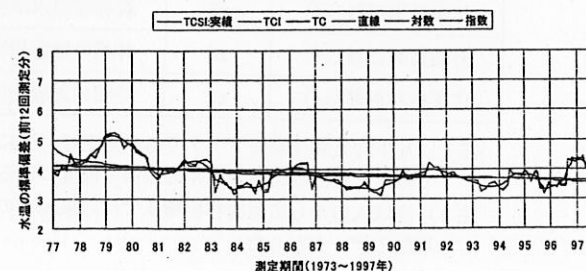


図17 高保木堰の水温標準偏差の時系列変化 (EPA法)

4 考 察

(1) 流況安定時の河川水温の重回帰分析結果

重回帰分析結果によると、3水系4地点の河川水温の説明変量項目は微妙に異なっており、それぞれの地点がもつ環境バックグラウンドが反映されていると考えられる。次に、水温から見た各地点の河川環境の特徴を検討する。

①安芸川桁の木橋

重回帰式 ① $Y = 0.377(0.464)x_1 + 0.467(0.536)x_2 - 0.51$
 ② $Y = 0.387(0.475)x_1 + 0.456(0.523)x_2 + 0.039(0.036)x_7 - 4.19$

* () 内は標準偏回帰係数を示す。

水温は、測定時気温 x_1 と月平均気温 x_2 により概ね決定される形になっており、両者の比較では月平均気温の影響がやや大きい。

月平均気温は測定時気温に比べ地表部の地温との相関が高いと考えられ、上式は次のように解釈される。すなわち、源流部から約20km下流の桁の木橋では、流下過程で気温の影響を受けた上流部由来の流下水とともに、月平均気温との相関がある地温の影響を受けた中間～基底流出水が近辺部を含めた周辺部から新たに流入し、気温と地温の温度条件が組み合わされた河川水温になっている状況が推察される。このことは、図18～19にも表れており、水温は気温と月平均気温の両方と高い相関を示すが、月平均気温との一致度がやや高い。

地理的に見ると、桁の木橋は安芸川の扇状地の上端部分に位置し、上流域には森林地帯が広がっている。この森林地帯で遠くまなく涵養された水が桁の木橋付近へと流下し、下流の平野部へ供給されている。

なお、②式で広葉樹林面積 X_7 がわずかながら作用する形が示されている。標準偏回帰係数も0.036と小さくあえて言及するほどの影響度ではないが、上記の水涵養機能との関連に興味もたれる。

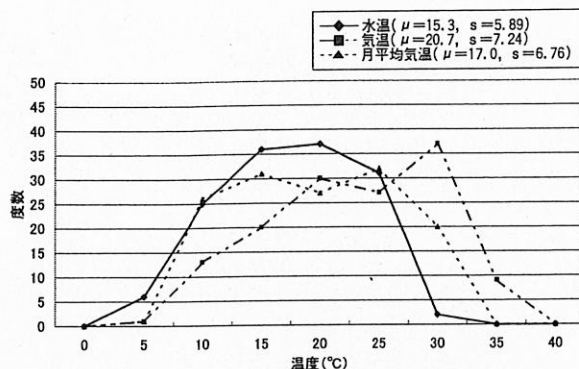


図18 桁の木橋の水温・気温・月平均気温の度数分布

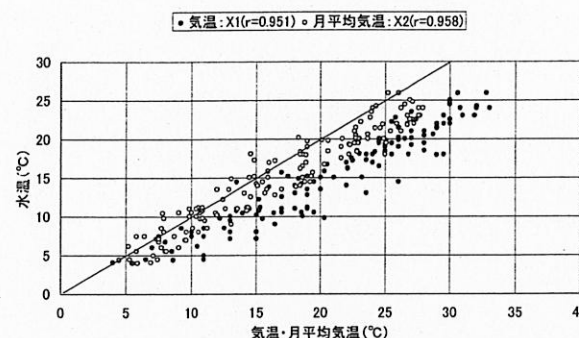


図19 桁の木橋の水温—測定時気温・月平均気温の関係

②物部川日の出橋, 上葦生川安丸橋

<日の出橋>

重回帰式 ① $Y = 0.464(0.660)x_1 + 0.256(0.334)x_2 + 1.60$

<安丸橋>

重回帰式 ① $Y = 0.463(0.705)x_1 + 0.199(0.287)x_2 - 1.80$

* () 内は標準偏回帰係数を示す。

両地点の水温は、測定時の気温 x_1 で概ね決定され、月平均気温 x_2 もやや影響する形になっている。

両地点とも物部川水系の上流部に位置しており、上流域の森林地帯から中間～基底流出水が流入し、桁の木橋と同様に気温と地温の影響が組み合わされた河川水温になることが予想される。しかし、重回帰分析結果は予想に反して測定時気温の影響が大きくなっている。これは流水が流下中に受ける気温の影響が大きいことを示すものだが、当該区域はダ

ム上流部で河床に巨岩やレキが多く、岩やレキは熱伝導性*が高いため気温変化に短期間で追随し、この岩の間を表流水として流れる水は結果的に気温変化に追随し易くなっているのではと推定しているが、現地での確認は未実施である。

図20~23では、両地点とも、水温との相関は月平均気温より気温の方が高く、また気温の標準偏差は月平均気温に比べそれほど過大ではないという分布が示されており、気温の標準偏回帰係数が大きくなることが図上からも読みとれる。

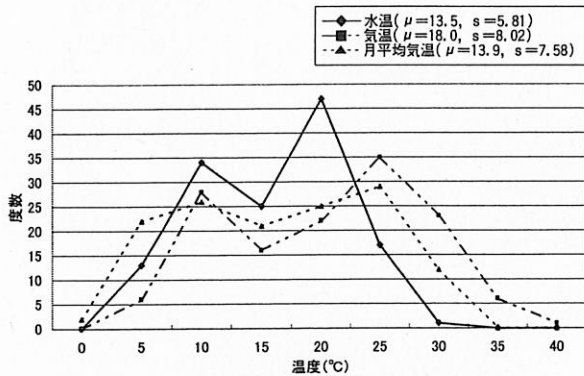


図20 日の出橋の水温・月平均気温の度数分布

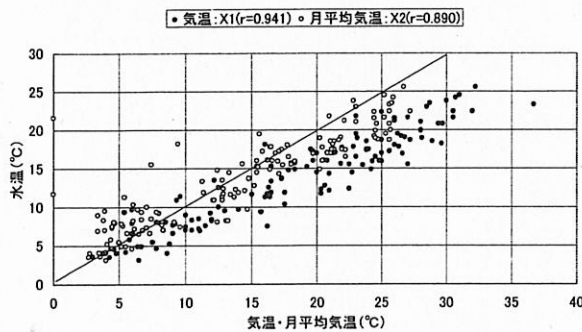


図21 日の出橋の水温一測定気温・月平均気温の関係

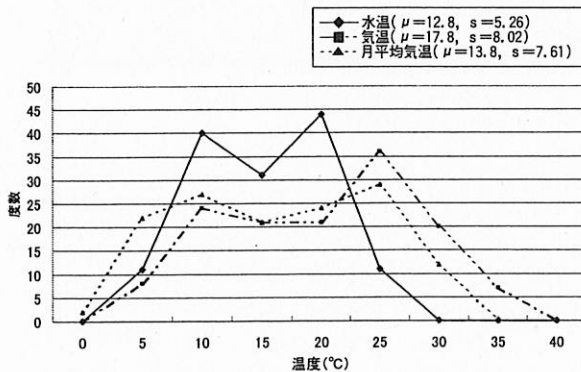


図22 安丸橋の水温・月平均気温の度数分布

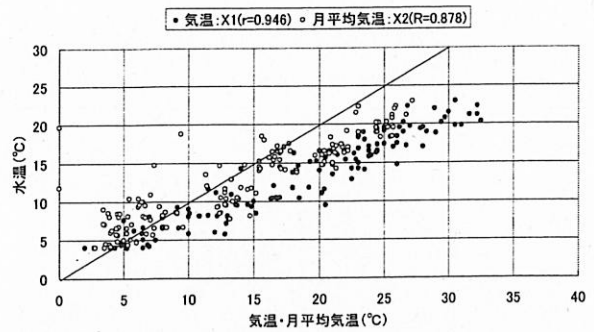


図23 安丸橋の水温一測定気温・月平均気温の関係

③新莊川高保木堰

重回帰式 ① $Y = 0.482(0.902)x_2 - 0.032(-0.135)x_3 + 10.52$
 ② $Y = 0.094(0.197)x_1 + 0.389(0.727)x_2 - 0.035(-0.149)x_3 + 10.24$

* () 内は標準偏回帰係数を示す。

4地点のうち最も特徴的な傾向を持ち、河川水温は月平均気温 x_2 で概ね決定され、他の河川とは逆に測定時気温 x_1 があまり影響しない形になっている。

これは、「新莊川清流保全計画」(H7年度高知県)の策定段階でも、新莊川は伏流水の作用が顕著で、下流部の方が水質が良好で水温変化が小さいという特徴が把握されており、これを再確認する形となっている。この理由は、新莊川の中下流部の河床には砂利層が発達している上、水系には多くの頭首工が存在し伏流化を促しているためと考えられている。

図24でも水温の標準偏差が4地点中最も小さく、図25も水温が気温や月平均気温に対して冬場に高く夏場に低いという傾向が他の地点より顕著で、年間を通じて温度変化が小さい地温の影響を受けた伏流水の比重が大きいことを示している。

なお、月間降雨量 x_3 の偏回帰係数は -0.032 と河川水温を低下させる方向に作用することが回帰式に示されているが、水温と

*熱伝導率: W/m/K(理科年表)……水: 0.59(20°C), 砂: 0.3(20°C), コンクリート: 1(常温), 磁器: 1.5(常温)

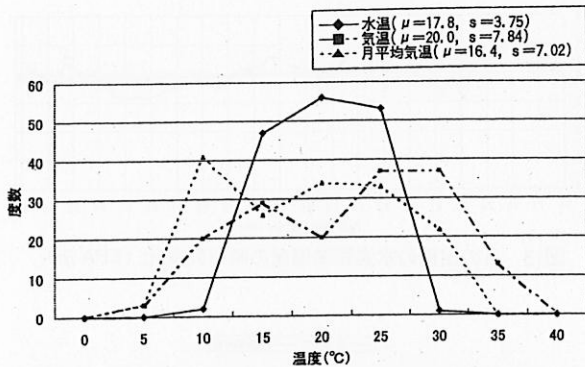


図24 高保木堰の水温・気温・月平均気温の度数分布

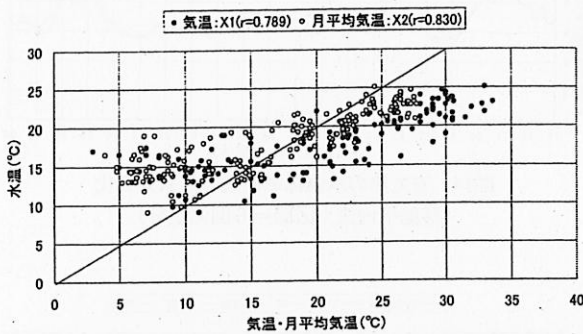


図25 高保木堰の水温—測定時気温・月平均気温の関係

の単相関係数は+0.348で正負が逆転しており、多重共線性の問題が生じている。ここでは、月間降雨量の水温低下作用は月平均気温が同レベルの場合での関係と見なす必要がある。

(2) 河川水温の長期経時変化

4地点の水温は季節変動しながら推移しているが、大きな長期変化傾向は移動平均法やEPA法でも認められない。

これに対して、水温変動の経時傾向を見るため12回分(約2年間分)毎の水温測定値から移動的に求めた水温標準偏差については、4地点とも長期的な低下傾向が認められた。図26~29に回帰直線図を再掲したが、この25年間で0.3~1.2℃の低下が示されている。なお、回帰直線式の説明変数xは、時系列指標として測定開始からの測定回数とした。

この低下傾向の理由については、本調査結果のみから判断することは困難であるが、いくつか考えられる点をあげ解釈すると次のとおりである。

①測定形態の平準化の影響有無

測定は、一部を除き年6回できるだけ分散

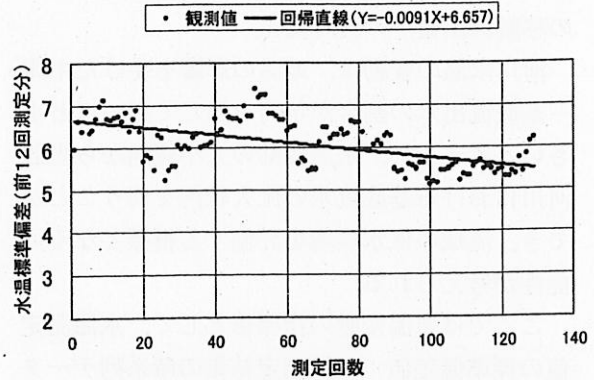


図26 栃木橋の水温標準偏差の時系列変化

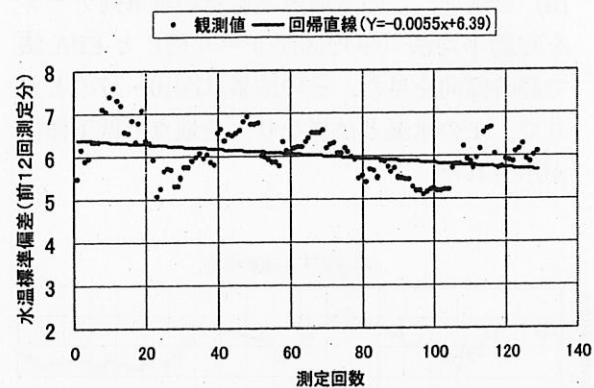


図27 日の出橋の水温標準偏差の時系列変化

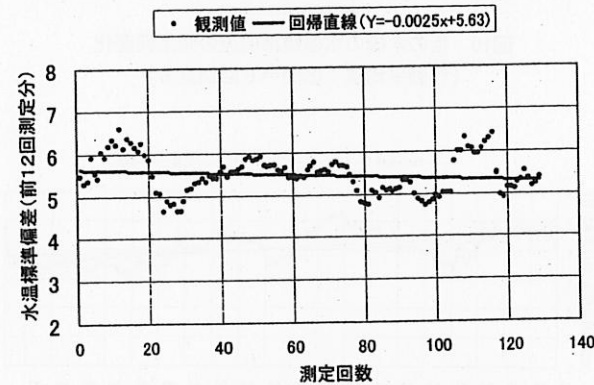


図28 安丸橋の水温標準偏差の時系列変化

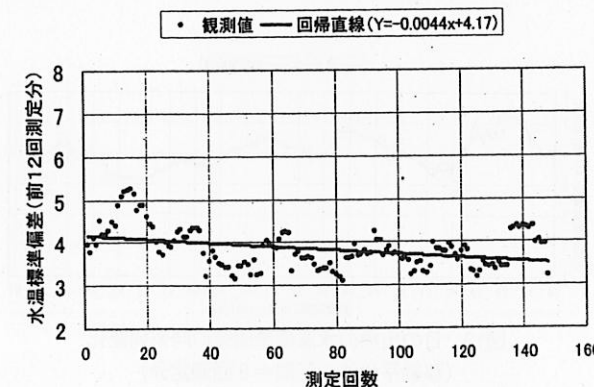


図29 高保木堰の水温標準偏差の時系列変化

して行うことを原則に行われている。従って、前12回の測定値から移動的に求めた標準偏差の時系列データには、測定形態による平準化の影響は無いと考えられる。また、現在の水温測定はPHメータにある抵抗式等の温度計で行われることが多いが、以前に使われていた可能性のある棒状温度計等の測定方法との違いが測定値の分散傾向に影響するとは考えにくい。

②人為的熱源の影響有無

冬場の暖房等の人為的熱源による温度平準化については、重回帰分析で人口影響が一応否定されており、また対象地点上流の河川流量に対する集落規模は高保木堰を除いて小さく、説明理由としては弱いと考えられる。

③気温・月平均気温変動の時系列変化の影響有無

対象地点における気温・月平均気温測定値の前12回分の移動標準偏差の時系列式を、水温と同様にして求めると次のとおりである。高保木堰を除いて温度変動の減少傾向が示されており、高保木堰以外の3地点については説明理由となり得ると考えられる。

地点	気温の標準偏差	月平均気温の標準偏差
栃の木橋	$y = -0.0091x + 7.99$	$y = -0.0032 + 7.19$
日の出橋	$y = -0.0050x + 8.80$	$y = -0.0096 + 8.43$
安丸橋	$y = -0.0052x + 8.47$	$y = -0.0103 + 8.48$
高保木堰	$y = +0.0055x + 7.72$	$y = +0.0021 + 7.08$

* x は、時系列の指標として測定開始からの測定回数とした。

④森林植生の変化

流域中に占める人工林面積の割合は大きく、近年の人工林の荒廃は保水力低下を招いていると指摘されることが多い。しかし、戦後に植林された人工林は30~40年生に成長しており、今回の結果だけで判断することは無理であるが、山林の保水力が徐々に回復し基底流量が増加しているという可能性を含んでいるとも考えられる。今回は、森林樹齢の変化は説明変量として検討しておらず、この可能性を点検するには森林植生の変遷データを入手するとともに、気温等の変動影響と合わせて検討する必要がある。

5 まとめ

今回の調査は、収集データの精度が不十分であり概略的な検討しか行えなかったが、対象地点ごとに河川水温の状況に微妙な違いがあるとともに、水温から流域環境を見ることは粗い評価方法ながら各地点の河川性状を俯瞰するうえで有効な面があることが見出せた。水温データは簡易で経費も安く測定できるものであり、その活用については今後も継続検討する必要があると考えられた。

また、河川の水温変動の低下傾向については波及性のある内容を含んでいると考えられ、検討対象地点数を増やして事実確認の精度を上げる必要があると考えられた。