

浄化ポンプによる都市河川水質制御

—徳島市新町川水系を対象として—

A Case Study of Water Quality Control in Urban Rivers

徳島大学工学部 中 野 晋 Susumu NAKANO
 徳島大学大学院 山 下 智 Satoshi YAMASHITA
 徳島大学工学部 三 井 宏 Hiroshi MITSUI

The Shinmachi river flows in the center of Tokushima city and is composed of 7 tidal branches. The water pollutant level of this river is still high because of a large quantity of domestic wastewater. The pump system, which was constructed by Tokushima Prefectural Office for introducing clean water from the Yoshino river, has been in operation since 1980.

The aims of this paper are to ascertain the characteristics of flow in the Shinmachi river to valuate the amount of clean water introduced by the pump system and to investigate the effective operation of the pump system. By using field observation and a numerical analysis of an implicit type finite difference method, it was found that 70% of clean water from the Yoshino river flows into the Suketoh branch and the remain flows into the Shinmachi river. In the spring tide, clean water can be introduced most effectively when the pump system is activated only in the ebb tide.

Keywords : Urban river, water quality, pump system, tidal river, simulation

1. はじめに

新町川水系は図-1に示すように徳島市内を網目状に流れる7つの感潮河川により構成される。現在、市内を北から南東に流れている新町川本川では、水際公園など親水性緑地としての整備が行われつつある。この水系は昭和40年代後半には工場および家庭からの汚濁水の流入で、一部は全く魚影の見られない、悪臭を発つ死の川と化していた。昭和50年代に入ってから、この水質改善対策として県と市は堆積ヘドロの浚渫、浄化用水の吉野川からの導水、下水道整備、排水規制の強化を行った結果、最近になって再びイナなど魚の遊泳が見られるようになった。しかし、徳島市内の下水道の普及率が約25%に過ぎない状況では現在も多く生活排水が河川へ流入しており、まだまだ汚染が著しいのが現状である。浄化対策の一つとして、新町樋門にポンプ場を設置して吉野川からの清浄水の積極的な導水が昭和55年から実施されている。しかし、この浄化ポンプの水質改善効果や効率的な運用方法は把握されていない。そこで、本研究ではこの水系の流れの状況を数値計算と現地観測により確認するとともに、浄化ポンプの有効な運用方法を検討した。

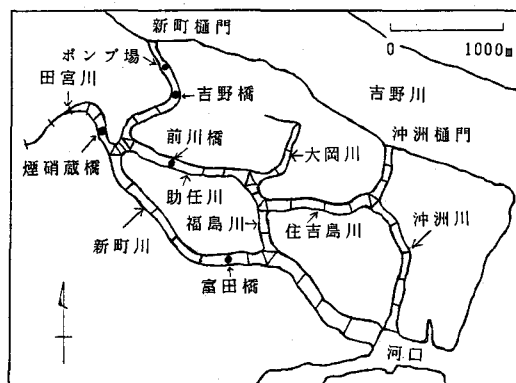


図-1 新町川水系の概略図

2. 新町川水系の流れの特性

新町川水系は新町樋門で吉野川から分流し、市内中心部を流れる新町川本川をはじめ、この本川に接続する助任川、大岡川、田宮川などにより成り立っている。新町川の上流になる吉野川には河口から14.5kmの位

置に第十堰があり、それより下流は感潮部となっており、この区間での塩分濃度は海水に近い。吉野川と新町川との分合流点である新町樋門、沖州樋門は河口からそれぞれ 5.1km、1.7km に位置しており、ここでの流入流出量は潮汐変動に基づいている。河口近くで合流する園瀬川を除くと晴天時に新町川水系へ流入する水は潮汐に起因するものと産業排水および生活排水に限定される。

1) 現地観測の概要

新町川の流れの特性を把握するため、2回の現地観測を実施した。第1回の観測では1988年6月14日（大潮）に 6:00～17:00の間、流速、塩分濃度、水位について新町川の吉野橋と富田橋、助任川の前川橋、田宮川の煙硝蔵橋の4カ所で測定した。第2回の観測は1989年10月25日と26日（中潮）の10:00～16:00に同じ場所で流速と水位について測定した。なお第2回観測では浄化ポンプの流れに及ぼす効果を調べる目的で新町樋門付近に設置されている浄化ポンプの運転方法を変化させた。つまり25日の11:00～15:00の間は浄化ポンプ稼働させ 4 m³/s の一定流量で吉野川から清浄水を流入させたのに対し、26日はポンプは停止させ、自然流入させた。流速測定は電磁あるいはプロベラ流速計を使用し、塩分濃度は電気式水質計あるいはサリノメータを用いた。測定はいずれも橋の中央部から測定器具を釣り下げて流速あるいは塩分濃度の鉛直分布を15分あるいは20分間隔で測定した。また水位変化は流速測定と同時に深浅レドを用いて求めた。

2) 数値解析の概要

数値計算手法は須賀¹⁾の提案している一次元の陰形式差分法を用いている。計算対象河川を図-1に示すように不等間隔の47断面で分割した。境界条件として田宮川の上流端で一定流量 (0.8 m³/s) を与え、新町川河口、新町樋門、沖州樋門では各時刻の潮位を小松島港での推算潮位あるいは新町川河口での実測潮位を与えた。大岡川は平常時には少量の生活排水が流入しているだけであるので上流端の流量は 0 m³/s とした。またポンプ稼働時には、新町樋門でポンプの吐出量を境界条件として与えた。Manningの粗度係数は観測結果を参考にして全川にわたり、0.035 の一定で与えた²⁾。計算の初期値として河道内流量は全断面で 0 m³/s、水位は河口潮位と等しい値を与えた。また計算のタイムステップは180s、助走計算は3時間以上とした。

3) 新町川水系の流れの特性

図-2に新町川の富田橋で第1回観測で測定された流速と塩分濃度の鉛直分布の1例を示す。時刻 9:20 の下げ潮時 (●印) には全水深にわたり、河口へ向かう流れが観測される。これに対し上げ潮時 (▲印、17:00) にはその逆となっている。また塩分濃度は下げ潮時、上げ潮時ともに深さ方向にほぼ一様であり、流れが停滞している低潮時の 12:40 の場合 (■印) のみ、水面付近の塩分濃度が底面付近の塩分濃度の半分以下となっている。これらの結果から、新町川の混合形式は強混合に近い緩混合型であると判断される。

河川中央部で計測した流速分布から、その地点における単位幅流量を求め、さらに Manning式に基づく次式のように幅方向の単位幅流量を求めて流量 Q を評価した。

$$Q = \sum_i q_i \delta x_i = \sum_i q_o (h_i / h_o)^{5/3} \delta x_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 q_i は単位幅流量、 δx_i は区間 i の幅、 h_i は水深を表し、添字 i および c はそれぞれ任意区間、中央区間を示す。

上式から求めた流量と水位についての第1回の観測結果を図-3に示す。

流量を●印で、水位を▲印で表す。新町樋門、沖州樋門、新町川河口では小松島港における天文潮位を与えて計算した。また吉野川河口部では140～170分周期の副振動が

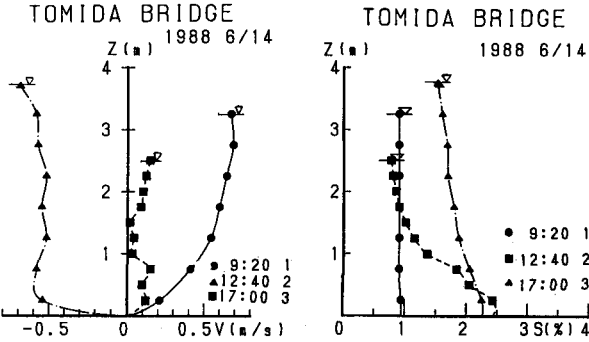


図-2 流速と塩分濃度の鉛直分布 (富田橋)

常時存在することが報告されているが³⁾、これを考慮して新町樋門での潮位変動にその副振動成分（周期160分、振幅2.5cm）を加えた潮位を与えている。こうして計算された流量と水位をそれぞれ破線と点線で示す。

各地点の水位変化は概ね小松島港の潮位を基にした計算値と一致している。しかし富田橋では低潮時に10cm以上も食い違っており、測定ミスの可能性が高い。流量の経時変化をみると、潮汐変動による成分のほかに短周期成分が含まれることがわかる。流量の計算値は前川橋ではほぼ一致した傾向がみられるが、富田橋では潮の最盛期の流量の観測値が計算値の約半分となっている。こうした違いは河川中央部の1点での流速の鉛直分布から式(1)を用いて簡易的に求めているためと考えられる。なお吉野橋では新町樋門に向かう流れを正とし、その他は新町川河口向きを正としている。また煙硝蔵橋と吉野橋では電源装置の故障などで一部欠測となっている。

図-4～6は第2回観測の結果を示したもので、左側の図が浄化ポンプ運転時（10/25）、右側の図が浄化ポンプ停止時（10/26）の測定結果である。観測値は流量を●印、水位を▲印で示し、計算値は曲線で示している。図中に曲線で示した計算値は潮位を新町川河口での実測値で与えた場合（実線は流量、一点鎖線は水位）と小松島港での推算値で与えた場合（破線は流量、一点鎖線は水位）の2種類を示している。ポンプは10月25日の11:00～15:00の間に運転されているが、ポンプ場に最も近い吉野橋ではこの時間帯にポンプ吐出量に相当する $4\text{ m}^3/\text{s}$ 前後の流入が観測されている。これに対しポンプを停止して樋門を開放していた26日には潮汐変動より振幅の大きい150分前後の周期をもつ副振動による流出入が観測されている。ポンプ吐出量が $4\text{ m}^3/\text{s}$ と大きくないため、前川橋での観測値ではポンプ運転時には停止時より河口へ向かう流れが若干増えているのがわかるが、富田橋ではもともとの流量が大きいことやばらつきのため、ポンプの影響を判別することは困難である。なお新町川河口の潮位データをもとにして計算した流量は1時間以内の短い周期で振動しているが、これは観測値のわずかな振動の影響を受けたものである。

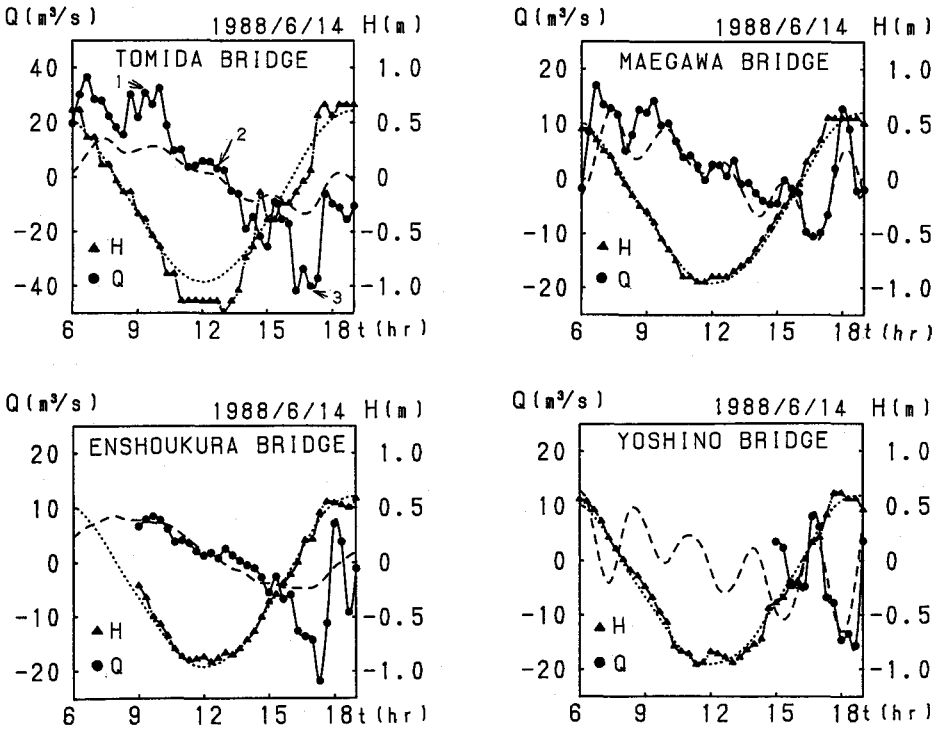


図-3 流量と水位の時間変化（左上：富田橋，右上：前川橋，左下：煙硝蔵橋，右下：吉野橋）

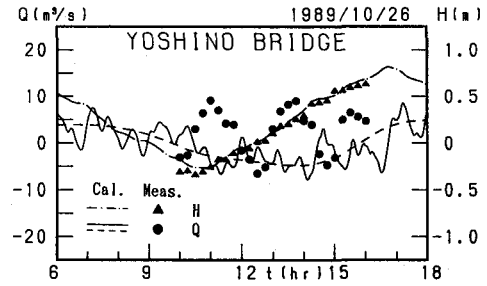
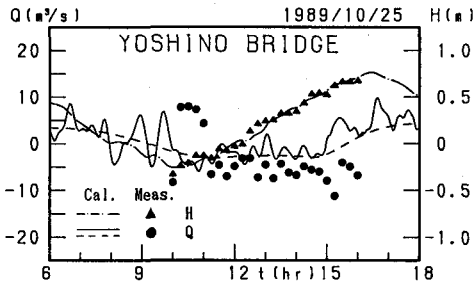


図-4 流量と水位の時間変化 (吉野橋)

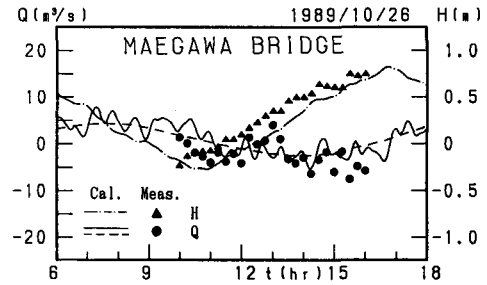
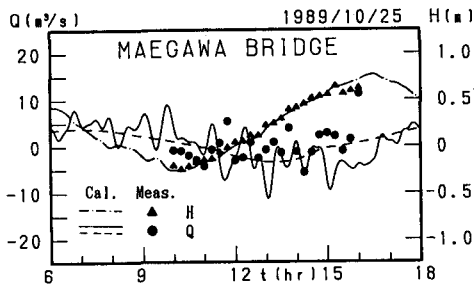


図-5 流量と水位の時間変化 (前川橋)

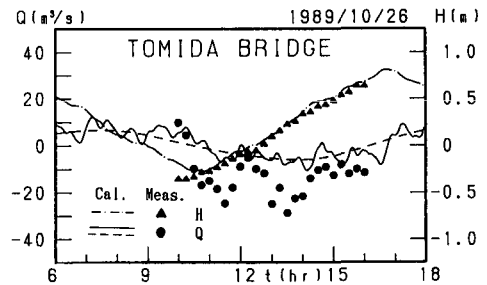
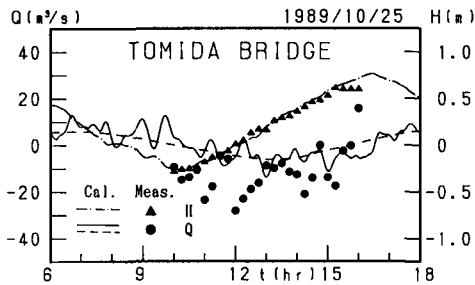


図-6 流量と水位の時間変化 (富田橋)

3. 浄化ポンプの運転方式と各河川流量

現地観測の結果からは浄化ポンプの流れに及ぼす影響を明確にとらえることはできなかった。そこでここではポンプの運転方法を変化させ、それぞれの場合の2潮汐間平均流量を数値計算により求め、浄化ポンプの効果を検討する。潮位には小松島港での推算値を与え、高潮時から次々の高潮時までの2潮汐間の各断面での平均流量を求めた。1989年11月の大潮、中潮、小潮を代表潮汐として用い、ポンプの運転時間を連続、上げ潮時のみ、下げ潮時のみ、停止に分けて計算した。

図-7、図-8は大潮の場合に、ポンプの運転時間を変化させると流量の時間変化にどの程度影響が現れるかを検討するための計算結果である。細い実線は潮位、太い実線はポンプは運転せず、樋門を開放した場合、破線はポンプを連続的に運転し $4 \text{ m}^3/\text{s}$ の清浄水強制流入させる場合、点線はポンプを運転せず、樋門も締め切って流入させない場合、●印、■印はそれぞれ下げ潮時、上げ潮時のみにポンプを運転する場合である。両方の図において新町川本川の富田橋、助任川の前川橋の両方でポンプの運転により河口に向かう流れが大きくなることが確認できる。また新町樋門から吉野川への流出が生じる下げ潮時(12時から17時頃まで

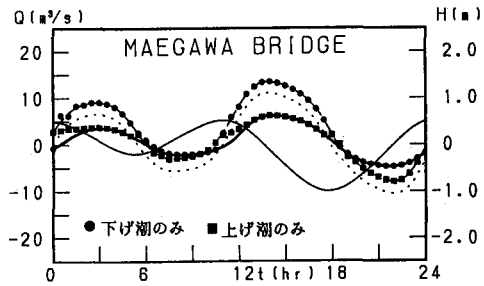
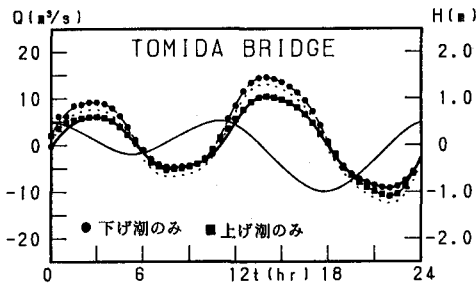


図-7 ポンプの運転条件と流量変化(富田橋)

図-8 ポンプの運転条件と流量変化(前川橋)

(太い実線: 閘門開放・ポンプ停止, 細い実線: 水位, 破線: 連続運転, 点線: 閘門閉鎖・ポンプ停止)

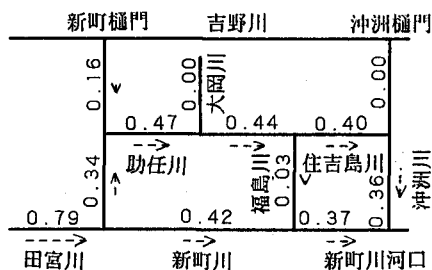


図-9 新町川水系での2潮汐平均流量
(新町閘門: 開放, ポンプ停止)

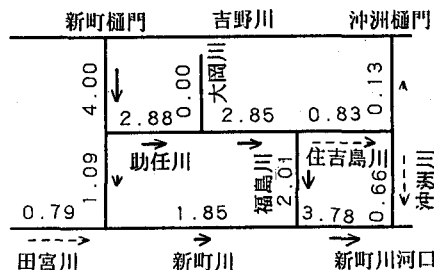


図-10 新町川水系での2潮汐平均流量
(ポンプ連続運転, $Q=4\text{m}^3/\text{s}$)

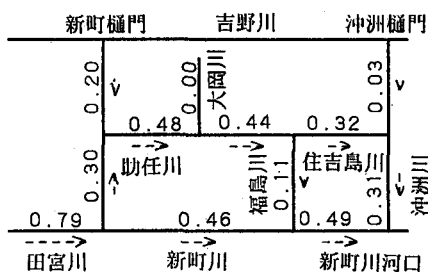


図-11 新町川水系での2潮汐平均流量
(上げ潮時運転, $Q=4\text{m}^3/\text{s}$)

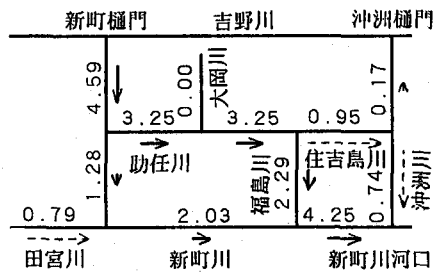


図-12 新町川水系での2潮汐平均流量
(下げ潮時運転, $Q=4\text{m}^3/\text{s}$)

など)にポンプにより強制流入を図ると効果は大きいのに対し、閘門を開放していても流入がある上げ潮時(18時から24時頃までなど)にポンプを運転することは清浄水の流入を抑制する結果を招く場合があることがわかる。ポンプ運転による流量増加量を14時頃の最大流量時について両者で比較すると、助任川での増加割合が大きく、助任川の水質管理には、ポンプの影響が大きいことがわかる。

図-9~12には大潮の日の2潮汐間の平均流量を各河川ごとに求め、この水系の流れの状況を模式的に表したものである。図中の数字は m^3/s 単位で表した平均流量で、矢印の長さで流量の大きさを示している。なお、実線の矢印は $1\text{m}^3/\text{s}$ 以上であり、それ以下は破線の矢印で示している。図-9はポンプを停止し、新町閘門を開放した場合である。吉野川からの流入は小さく、淡水の流入は田宮川からがほとんどである。また助任川を通過する流量と新町川の富田橋付近を通過する流量はほぼ同等である。なお、分流点や合流点の前後で流量が連続していないが、これは実際の潮汐推算値をもとに計算しているため、2潮汐後の高潮位が

異なっているためである。図-10はポンプを連続運転した場合の計算値である。吉野川から流入する清浄水の約70%は助任川を流れ、その残りが新町川を流れることがわかる。また助任川へ分流した清浄水の内、30%弱は住吉島川にも流入し、水質改善に寄与すると考えられる。図-11は上げ潮時のみにポンプを運転する場合であるが、図-9の樋門開放状態と変わらず、ほとんど効果のないことがわかる。図-12は下げ潮時のみ運転した場合の計算結果であり、図-7、8でも最も効果があることが示され

表-1 運転条件ごとの2潮汐平均流量

潮の状況	ポンプ流入量 (m^3/s)	ポンプ運転条件	2潮汐平均流量 (m^3/s)		
			助任川	新町川	住吉島川
大潮	0	停止	0.47	0.42	0.40
	4	連続運転	2.88	1.85	0.83
	4	下げ潮時運転	3.25	2.03	0.95
	4	上げ潮時運転	0.48	0.46	0.32
	10	連続運転	8.73	4.01	1.65
中潮	0	停止	0.43	0.32	0.25
	4	連続運転	2.82	1.73	0.70
	4	下げ潮時運転	2.92	1.75	0.74
	4	上げ潮時運転	0.81	0.56	0.28
小潮	0	停止	0.48	0.39	0.11
	4	連続運転	2.95	1.86	0.58
	4	下げ潮時運転	2.62	1.64	0.53
	4	上げ潮時運転	1.47	0.96	0.28

たが、吉野川からの流入量が増加する結果、助任川、新町川、住吉島川など田宮川と大岡川以外では平均流量が増加しており、水質改善の効果が大きいと考えられる。しかしいずれの運転方式でも田宮川や大岡川への水質改善効果は全くないため、水系全体の水質改善のためには両河川を対象とした水質改善事業を行う必要がある。

上述と同様の計算を小潮や中潮について計算した結果も含め、ポンプの運転方式と平均流量の関係を表-1にまとめて示す。

大潮の日についてはすでに示されたが、中潮の場合にも下げ潮時のみポンプを運転して強制流入を図る方法が清浄水導入のためには最も効果的である。また新町樋門のポンプ場は吐出量を最大 $10\text{m}^3/\text{s}$ とできるように設計されており、最大限までポンプ能力が強化された場合には表からわかるようにほぼ線形的に効果は増大することが予想される。また潮の出入りの少ない小潮の日には、ポンプを連続的に運転したほうが下げ潮時のみ運転する場合に比べ、1割程度多くの清浄水を導入できるが、大潮や中潮の日に比べると流入量は多くないことがわかる。

4. おわりに

この研究は徳島市の市内河川である新町川水系の水質改善を目的としたものである。そのため現在稼働中の浄化ポンプ施設の流れに及ぼす効果を調べ、水質改善効果が最も得られる運転方式を検討した。その結果感潮河川である新町川に吉野川からの清浄水を効率よく導入するには下げ潮の間だけ運転すると良いことが明らかになった。またこのポンプ施設では田宮川や大岡川に対して水質改善効果は全くないことが確かめられた。今回の計算は流れについてのみの議論であり、実際の水質改善効果が計算されたわけではないため、この点については引き続き検討を加える予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、徳島大学工業短期大学部教授村上仁士博士、同助教授細井由彦博士には研究の全般にわたり貴重な御助言、御協力を頂いた。徳島県土木部、徳島土木事務所、小松島港開発事務所からは貴重なデータの提供などの御配慮を頂いた。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 須賀堯三・葛西敏彦：陰形式差分法による不定流計算法，土木技術資料，24-4，pp.193-32，1982。
- 2) 山下智・中野晋・三井宏：都市河川網における流動シミュレーション，第44回年次学術講演会概要集，II pp.472-473，1989。
- 3) 高橋俊則・中野晋・三井宏：吉野川河口周辺部での水位変動について，第41回中四支部研究発表会概要集，pp.241-242，1989。