

鳴門市を流れる新池川の水質改善に関する考察

徳島県保健環境センター

有澤 隆文・高田 次郎・出羽 達也

大野ちづ子・村上 憲司

Study on Improvement for Water Quality of Shin-ike River at Naruto city in Tokushima Prefecture

Takafumi ARISAWA, Jiro TAKATA, Tatsuya DEBA, Chizuko OHNO, Kenji MURAKAMI

Tokushima Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

要 旨

都市型河川である新池川について、過去23年間の水質データからトレンドを解析した結果、pH、DO、SSの上昇傾向が見られた。水質の現状から水域全体で有機性汚濁と富栄養化が見られ、高いpH、DO、SSの原因は植物性プランクトンによるものと推測された。しかし、1997年以降のSS濃度上昇の原因究明については資料不足であり、今後さらに調査する予定である。

Key words : 新池川 Shin-ike river, 環境 GIS GIS for environment, 水質 water quality, 有機性汚濁 organic pollution, 富栄養化 eutrophication, クロロフィル Chlorophyll, 内部生産 internal production, 浮遊物質 SS

I はじめに

徳島県北部の鳴門市の東部に位置する新池川(図-1)は、水門操作により旧吉野川から導水され、上流で中山谷川と合流して撫養川に注いでいる。流路延長は4.6 km、流域面積9.7 km²、平均幅は65 m、水深は0.5~3 m²の河川である。また、下流には新池川防潮水門(以下、水門)と2つの排水機(処理能力:270 m³/min, 240 m³/min)が設置されており適時、

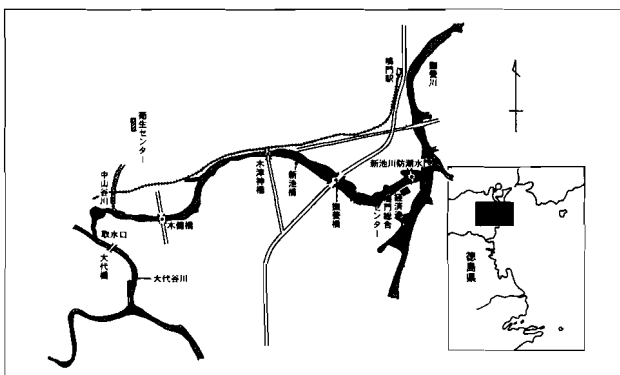


図-1 調査地点図

水位調節され撫養川に排水されている。

本川は1級河川であり、公共用水域の常時監視を実施しているが、河川の水質環境基準の類型指定は行われておらず、近年、流域住民は水質の悪化を懸念している。また、主な事業所発生源としては、鳴門市衛生センター、徳島県経済農協連食肉センター等がある。

そこで本報では、新池川の水質に関してこれまでのデータを検証するとともに、今回行った現況調査から新池川の水質について考察を行った。

II 公共用水域から見る新池川の水質

公共用水域の常時監視における新池川水域は、1980年代初頭、数カ所で測定地点を設定していたが、現在では中流にあたる木津神橋でのみ、毎月、生活環境項目を測定している。そこで、徳島県環境GISに収集されている公共用水域の電子ファイルから1980年度~2002年度の23年間のデータを抽出し、基本統計量についてまとめたものを表-1に示す。

表-1 基本統計量

項目	有効サンプル数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	中央値
水温	246	35.0	2.7	18.2	8.5	18.9
pH	247	9.9	6.9	8.4	0.7	8.5
DO	247	20	1.3	12	3.6	12
BOD	240	28	1.5	8.8	4.4	8.1
COD	245	32	2.0	12	3.9	12
SS	246	62	1	22	10	21
透視度	245	50	8	20	9	18

表-2 河川における環境基準

項目 類型	利用目的の適応性	基準値				
		水素イオン濃度 (pH)	生物化学的酸素 要求量 (BOD)	浮遊物質 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級自然環境保全及び A以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	1 mg / ℓ以下	25 mg / ℓ以下	7.5 mg / ℓ以上	50MPN /100 ml以下
A	水道2級水産1級水浴及び B以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	2 mg / ℓ以下	25 mg / ℓ以下	7.5 mg / ℓ以上	1,000MPN /100 ml以下
B	水道3級水産2級及びC以 下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	3 mg / ℓ以下	25 mg / ℓ以下	5 mg / ℓ以上	5,000MPN /100 ml以下
C	水産3級工業用水1級及び D以下の欄に掲げるもの	6.5以上 8.5以下	5 mg / ℓ以下	50 mg / ℓ以下	5 mg / ℓ以上	—
D	工業用水2級農業用水及び Eの欄に掲げるもの	6.0以上 8.5以下	8 mg / ℓ以下	100 mg / ℓ以下	2 mg / ℓ以上	—
E	工業用水3級環境保全	6.0以上 8.5以下	10 mg / ℓ以下	ごみ等の浮遊が認め られないこと。	2 mg / ℓ以上	—

平均値は、水温で18.2℃、pHで8.4、DOで12 mg / ℓ、BODで8.8 mg / ℓ、CODで12 mg / ℓ、SSで22 mg / ℓ、透視度で20 cm (ただし50 cm以上は統計的に50 cmで処理)であった。これらの値を河川の環境基準 (表-2) にあてはめると、pH、SS、DOは類型AAを満たすが、BODは類型Eになり高い値を示す。

水質の長期変動を見るために、各項目における月別時系列変化を図-2に示す。季節的変動が大きいため、これらを除去するために季節調整した12区間移動平均を実線で示す。

水温については1990年代から上昇傾向が見られる。

pH、DOについては正の相関が高く ($r = 0.6929$, $P < 0.01$)、各々1990年頃に低くなるが、その後、1980年代と同じ値になっている。pHは、常時アルカリ側であり、高い時には9前後になる。特に近年高くなる傾向が見られる。DOについては5 mg / ℓ以下になる場合もあるが、高い時に20 mg / ℓの過飽和になり、変動幅が大きい。

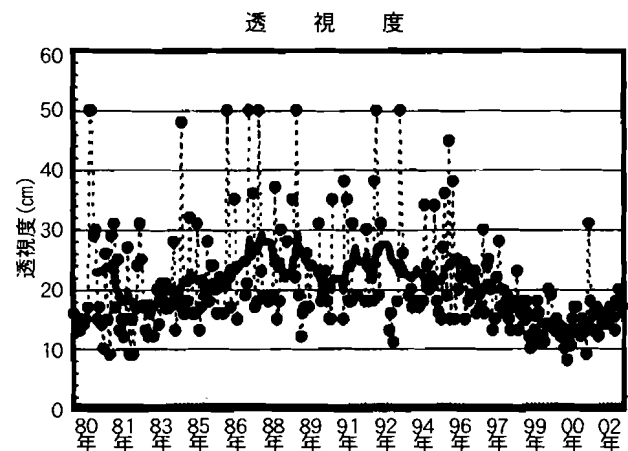
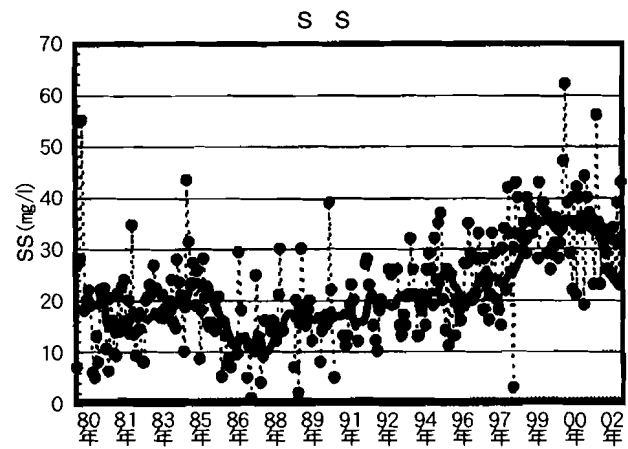
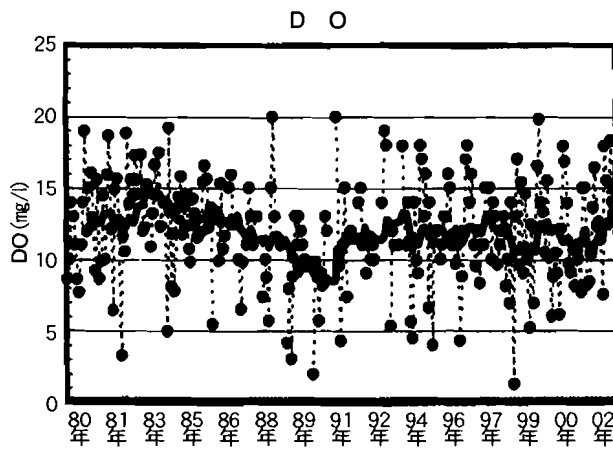
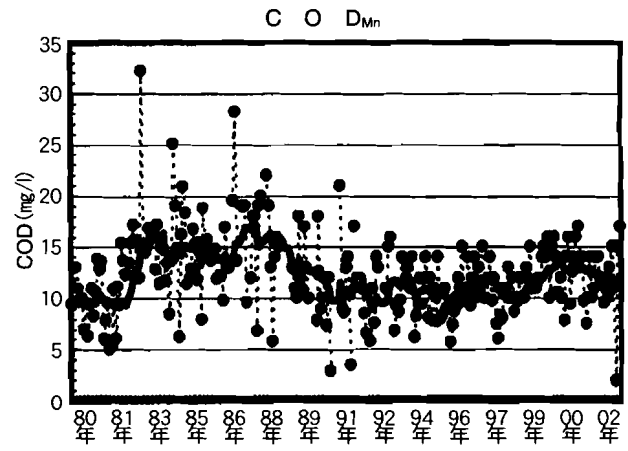
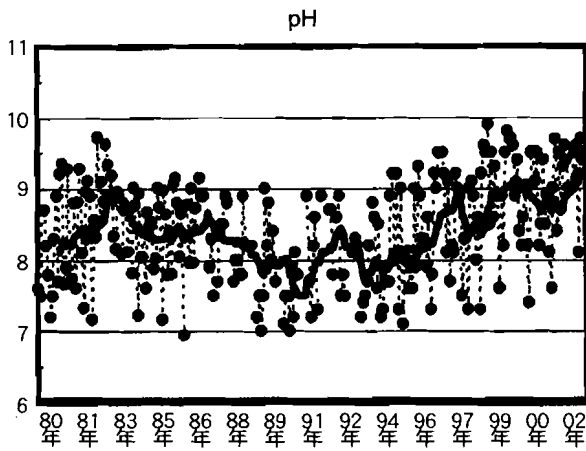
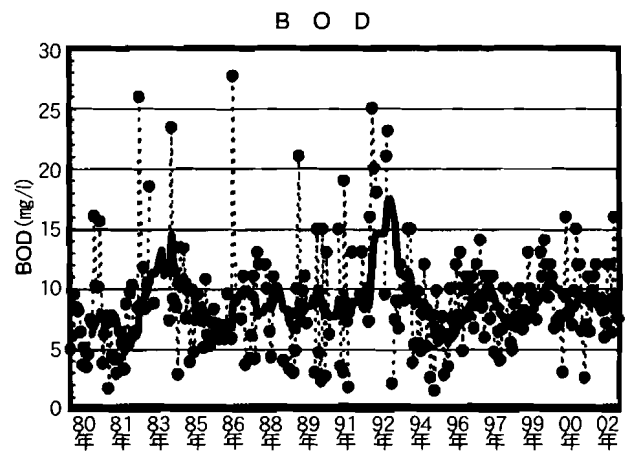
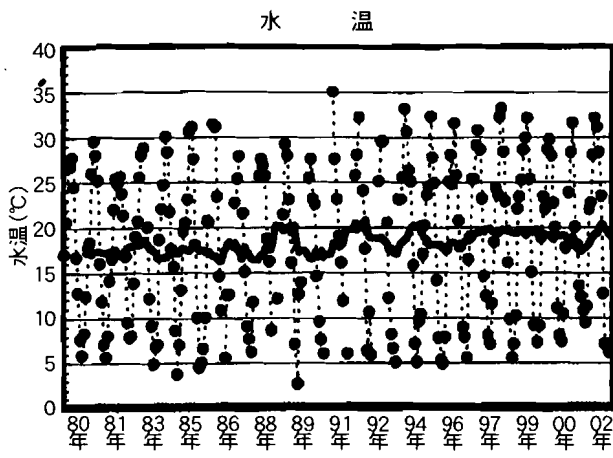
BOD、CODについても高い正の相関関係 ($r = 0.5765$, $P < 0.01$) が見られた。BODは、1984年や1993年頃にピークを持つが、近年、ほぼ横這いである。CODは1983年～1989年頃に高い値を示すが、近年、ほぼ横這いである。BOD、CODともに1990年以前は高い値が見られたが、その後、高い値

の頻出する回数は減っており、近年、有機性汚濁の更なる進行は見られない。

SS、透視度については高い負の相関 ($r = -0.7173$, $P < 0.01$) が見られた。SSは1985年～1990年頃で減少傾向が見られるが、1997年頃以降、上昇傾向が見られる。透明度は、逆の傾向を示し、1986年～1997年頃にかけて透視度は高いが、近年は下降傾向にある。

III 新池川の現況調査

過去のデータから、特にSSが1990年代後半以降、約20 mg / ℓから約2倍の40 mg / ℓとなり、上昇傾向を示した。したがって、流域住民からの水質への懸念というのは、河川の濁りによる視覚的な水質汚濁の可能性が強いと考えられる。新池川ではpH、DO、SS、CODが高い値であるため、一般に植物性プランクトンの異常増殖が生じているものと考えられる。しかし、近年、SSが上昇しているにもかかわらず、CODは横這いであり、必ずしも植物性プランクトンとSS、あるいはCODとの関連性についてはデータが少なく、明白でない。そこで、新池川の現況を把握するため、これまで観測項目に含まれていない植物性プランクトンに注目し、その指標であるクロロフィルおよびその増殖に必要な富栄養化関連物質で



※実線は12区間移動平均を示す。

図-2 各項目における月別時系列変化

ある各態窒素、各態リン、ケイ素（以下、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）などの栄養塩類について主に調査した。

調査は、一般に植物性プランクトンの生産が高いと考えられる夏期を考慮し、2004年9月15日に行った。9月1日に水門開門、6日、7日に排水機による排水が行われている。したがって、本調査は8日間、河川水の流出がない時の水質である。

調査地点は、上流で合流する中山谷川の最下流の橋（以下、中山谷川）と新池川では木備橋、木津神橋、撫養橋、水門内側の計5地点（図-1）であり、表層を採水した。下流の水門から調査地点への距離は、それぞれ約4.2 km、約3.1 km、約1.8 km、約0.6 kmである。調査時の水深は、中山谷川と木備橋は0.5 m、木津神橋、撫養橋、撫養川は約1.5～1.7 mであり非常に浅かった。

調査項目は水温、流速、pH、DO、SS、濁度、BOD、COD、全窒素（以下、T-N）、各態窒素、全リン（以下、T-P）、各態リン、ケイ素（以下、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）、クロロフィル a、b、c である。分析方法は JIS K 0102 に準拠した。粒状態とろ過態の画分は Whatsman GF/F フィルターで行った。クロロフィルの計算は Strickland & Parsons³⁾ を用いた。流速計は東邦電探 TK-105DH を使用した。

なお、窒素およびリンの各態濃度は以下の式から計算した。
粒状窒素（以下、P-N）＝全窒素（T-N）－溶存全窒素（DTN）

溶存有機窒素（以下、DON）＝溶存全窒素（DTN）－無機窒素（以下、DIN）の合計（硝酸性窒素（以下、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、亜硝酸性窒素（以下、 $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、アンモニア性窒素（以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）

粒状リン（以下、P-P）＝全リン（T-P）－溶存全リン（DTP）

溶存有機リン（以下、DOP）＝溶存全リン（DTP）－リン酸態リン（以下、DIP）

また、木津神橋のみ採水した日から起算し1日後、2日後、6日後の水質の変化を見るためBOD、SS以外の項目について調査した。この期間も同様に水門と排水機による排水操作はなかった。

各項目の濃度を図-3(1)～(3)に示す。

1 9月15日の結果

水色は上流の中山谷川と下流の水門内側が緑黄色、他は黄褐色であった。

水温は上流の中山谷川で低く25.4℃であったが木備橋、木津神橋で約29℃になり下流にいくと約28℃になった。

流速は、水門内側以外の河川流心において2点法（ $V_{0.8}$ ＝

水深の2割、 $V_{0.8}$ ＝水深の8割）を用い平均流速³⁾を求めた。ただし、木備橋は底層の測定は困難だったので表層のみの測定である。平均流速は下流に行く程、速くなり、0.003m/s～0.017m/sの範囲を示したが、いずれの地点も微速であった。特に木津神橋の表層では、流速がなく停滞していた。

pHは、中山谷川で7.4を示した。木備橋から撫養橋まで約8程度あり、弱アルカリ側を示したが、水門内側では7.7に下がった。

DOも同じ傾向を示し、中山谷川では6.5 mg/lと低かったが、木備橋では最も高く9.0 mg/lであった。フオックスの公式から算出した酸素飽和量は中山谷川では77%と低く、木備橋と木津神橋では110%前後の過飽和になり高くなったが、撫養橋と水門内側では93%前後であった。

SSは、中山谷川で12 mg/lと低かった。新池川で、木津神橋において低くなったが、下流に行く程高くなり、20 mg/l～41 mg/lであった。

濁度は、中山谷川で14度と低かった。新池川では、水門内側において若干低下したが、下流に行く程高くなり、25度～36度であった。

透視度は、中山谷川で31 cmと高かったが、新池川では低く、13～18 cmであった。

BODは、中山谷川で0.9 mg/lと低かったが、新池川では下流に行く程、低くなる傾向があり、3.4 mg/l～5.6 mg/lであった。

CODは、BOD同様、中山谷川で低く5.8 mg/lであったが、木備橋、木津神橋、撫養橋で10 mg/l程度、水門内側では8.7 mg/lになった。粒状態CODの占める割合は中山谷川と水門内側で低く、それぞれ9.6%、26.8%であったが、他の地点では40%台であり、一般的に粒状態の割合が高かった。

T-Nは、下流に行く程高くなり、0.9 mg/l～2.1 mg/lであった。窒素の各形態別割合を見てみると、木備橋、木津神橋ではP-Nは60%以上を占め多かったが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ が枯渇していたためDINが低く、DONが多くを占めた。中山谷川では $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DONがその大部分を占め、また、水門内側では、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が多くを占め、地点によってその割合は異なった。

T-Pは、T-Nの傾向とは異なった。中山谷川で最も低く0.058 mg/lであり、新池川では下流に行く程低くなり0.13 mg/l～0.23 mg/lで推移した。各態別割合を見ると、どの地点も50%以上がP-Pとして存在し、その割合は下流に行く程高くなった。一方、DIPに関しては、中山谷川でその割合が高く、約33%を示すが、新池川では下流に行く程、濃度とその割合は減少し、水門内側では検出されなかった。

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ は、上流の中山谷川、木備橋で高く、約8 mg/lを示したが、他の地点では4～5 mg/lとなり低かった。

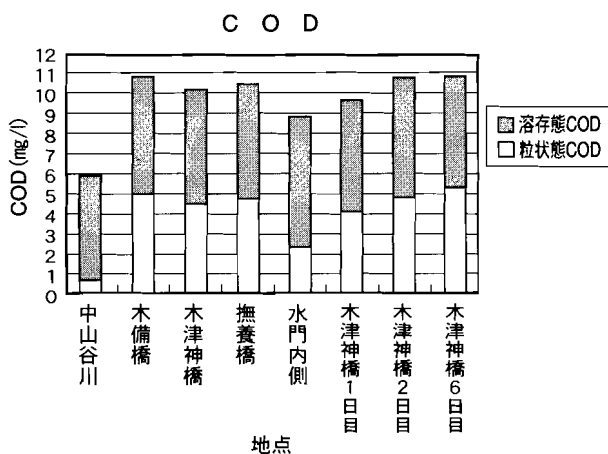
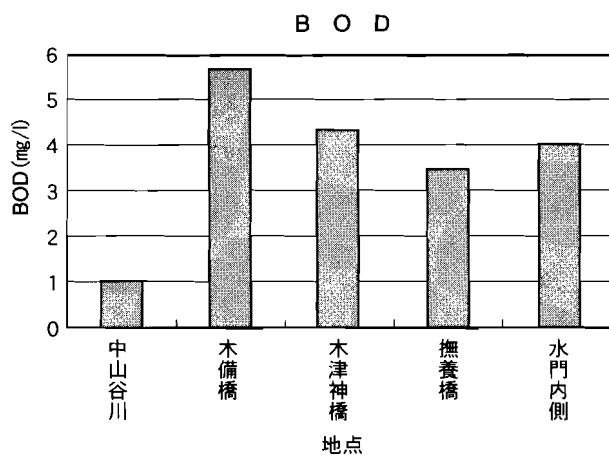
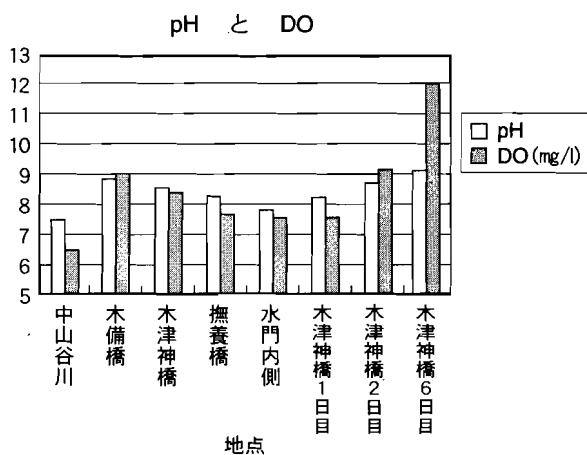
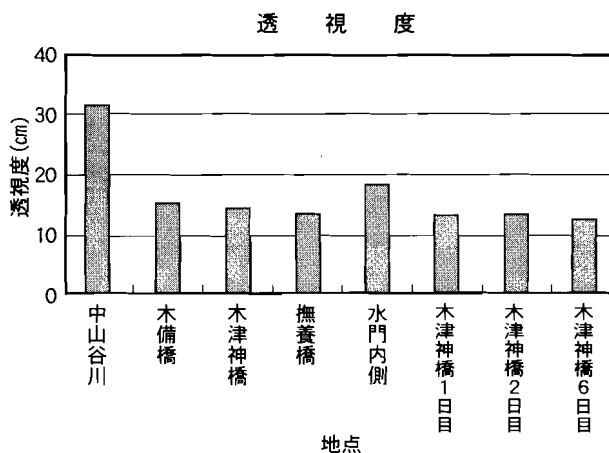
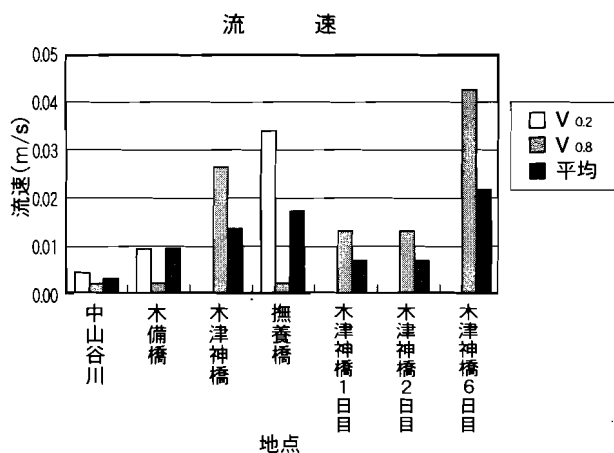
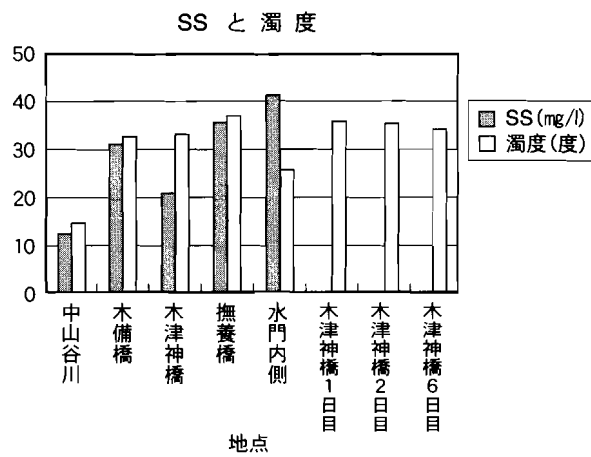
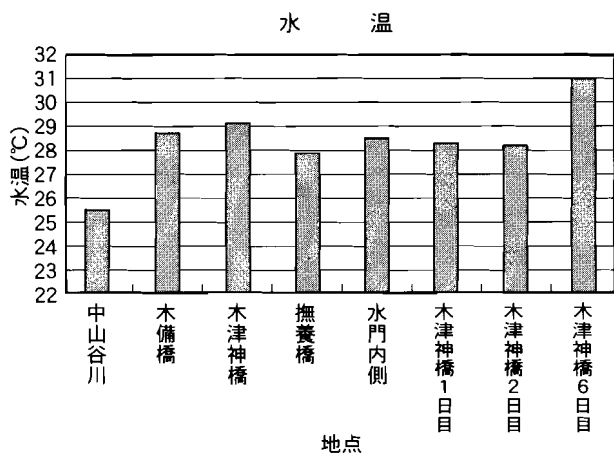


図-3(1) 各項目の濃度

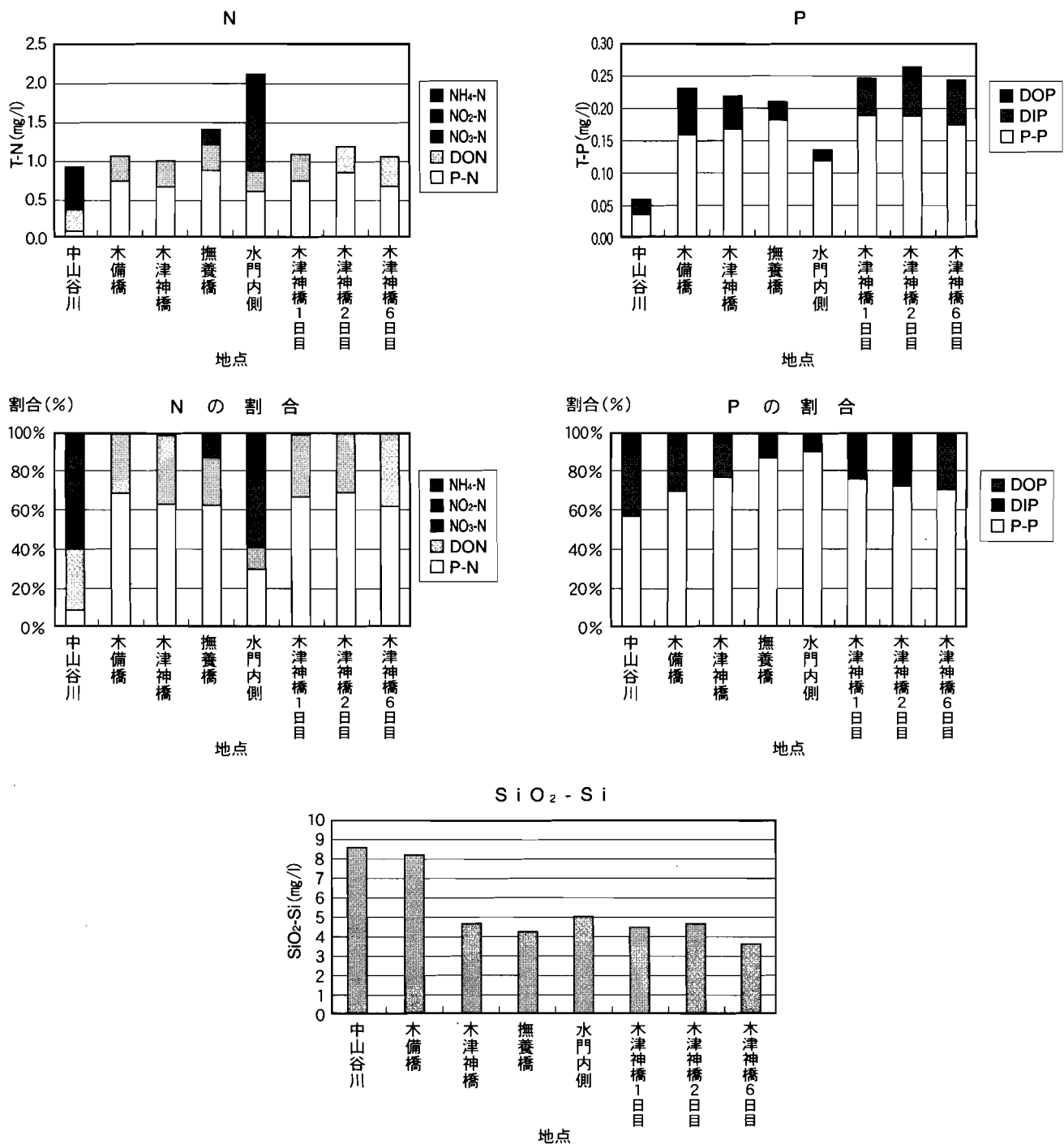


図-3(2) 各項目の濃度

全ての植物性プランクトン種に含まれているクロロフィル a は、中山谷川で低く $10 \mu\text{g/l}$ 、木備橋、木津神橋で $87 \mu\text{g/l}$ 、撫養橋、水門内側では $100 \mu\text{g/l}$ を超え、下流に行く程高くなる傾向を示した。特に、撫養橋で最も高く、 $147 \mu\text{g/l}$ であった。同じ様に、クロロフィル b, c も a と同様な傾向を示した。

IV 考察

現況調査の BOD, COD から、新池川水域全体で依然、高い有機性の汚濁があることがわかる。調査時の BOD は、徳

島県河川における平均値と比較すると類型 C の河川に相当⁴⁾ し、COD は、徳島を代表する一級河川・吉野川（河川環境基準：類型 A）の平均濃度⁵⁾ の約 7 倍を示した。

特に新池川のクロロフィル a 濃度は、 $87 \sim 147 \mu\text{g/l}$ であり、夏期に行った県下河川の平均濃度 $4.4 \mu\text{g/l}$ や、この時の最大値 $66 \mu\text{g/l}$ （打樋川橋（河川環境基準：類型 C）⁶⁾、あるいは湖の汚染が目立つようになった 1970 年代の湯ノ湖（栃木県）や霞ヶ浦（茨城県）の $20 \sim 40 \mu\text{g/l}$ ⁷⁾ と比較しても、非常に高いことがわかる。また、過去のデータから植物性プランクトンが生産する COD、すなわち内部生

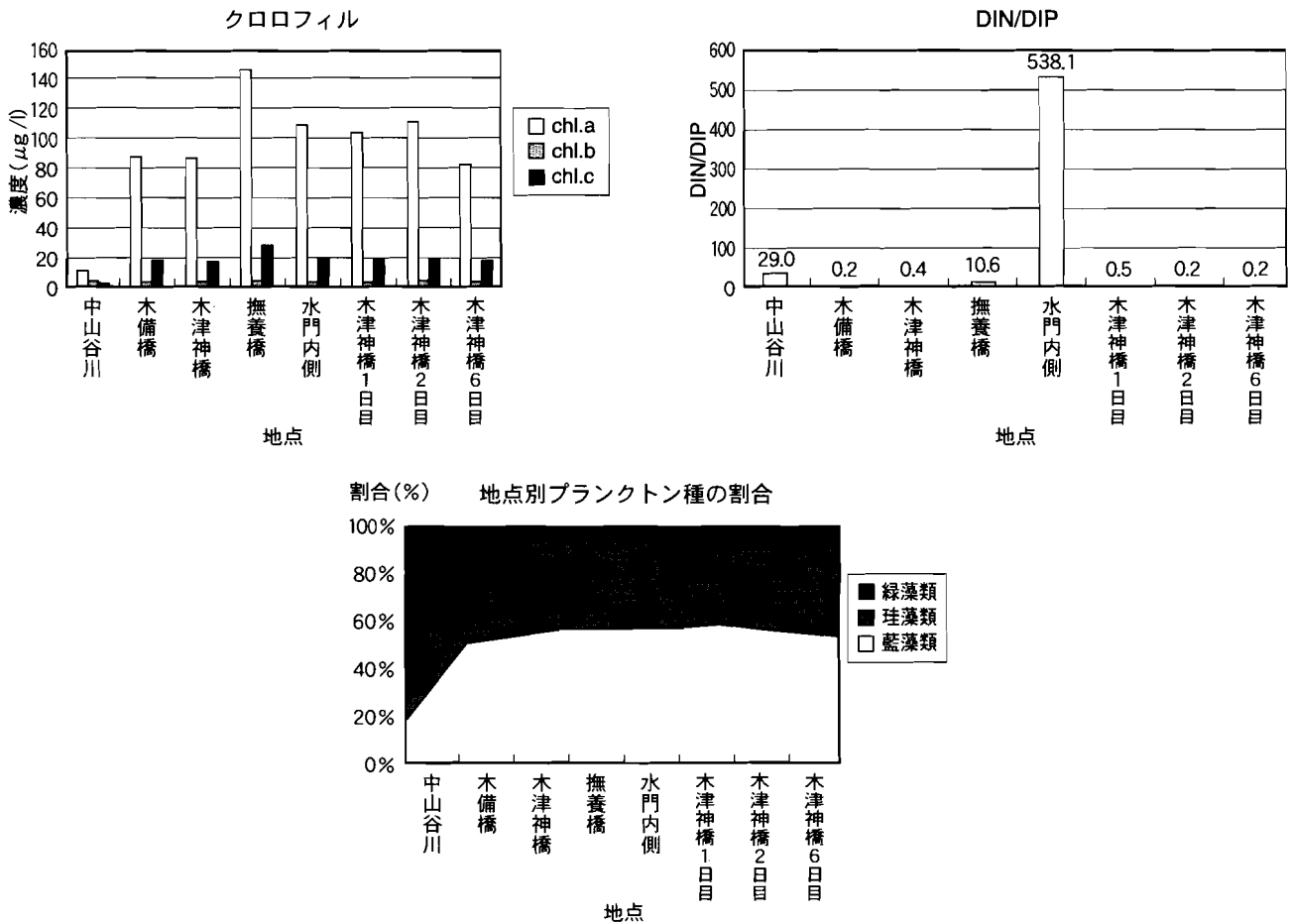


図-3(3) 各項目の濃度

産性のCODを推測するため Δ COD法⁸⁾ (COD内部生産 (Δ COD) = COD実測値 - COD_{min})を用いてみる。式中のCOD_{min}は年間の最小値を用いる。今回は、クロロフィル濃度が低い時はpHが低いと仮定し、23年間のデータの中から低いCOD値を20個抽出し、その中からpHが8以上のものは棄却し平均した。その結果、COD_{min}は5.8 mg/lになり、 Δ CODから内部生産寄与率 (Δ COD/実測値*100)を計算してみた。今回の結果では、木備橋から撫養橋にかけて寄与率は43~47%、水門内側で34%になり、水域で約4割程度が植物性プランクトン由来でCODが生産されることになり、その割合は高いことがわかる。したがって、現況調査から、新池川ではクロロフィル濃度が非常に高いため、植物性プランクトンの増殖によりCOD内部生産が上昇し、その結果、光合成により、pHはアルカリ側に、DOは飽和し、SS濃度は高くなる現象が解明できた。

一般に、植物性プランクトンの増殖には、窒素やリンが栄養塩として必要である。また、珪藻には、これらに加えてケイ素が必要である。新池川の窒素、リンを吉野川平均濃度⁵⁾と比較してみるとT-Nは等倍から約3倍、T-Pは約6倍から約10倍になっており、窒素はもちろん、特にリンが新池川は高い。さらに、今回のT-N、T-P、クロロフィルaの結果を

Forsberg & Ridingの栄養度の区別⁹⁾から判定すると、T-Nは富栄養型 (Eutrophic)、T-Pとクロロフィルaは栄養過度 (Hypertrophic)に分類され、より富栄養化度が進行している河川と考えられる。

また、プランクトンが直接取り込み可能なDINとDIPに注目し、これらの比 (以下、DIN/DIP比 (質量比))を地点別で比較してみた。木備橋、木津神橋では海洋プランクトンで使われるRedfield ratio¹⁰⁾の7.2よりも低いいため、植物性プランクトンの増殖は窒素により制限されている可能性がある。実際これらの地点では、植物性プランクトンの取り込みにより、NO₃-NとNO₂-Nが枯渇していた。一方、水門内側ではDIPが枯渇しており、明らかにリン制限であった。また、撫養橋でもRedfield ratioより高くなるため、DIPによって制限されている可能性がある。珪藻に必要なSiO₂-Siは枯渇することなく十分に存在するため、珪藻の増殖制限要因にはならないと考えられる。

今回の調査において、クロロフィルはSSあるいは濁度と同じ様な傾向は示さなかった。しかし、粒状態COD、P-N、P-Pの占める割合が高いことから、明らかに植物性プランクトン由来の有機物がSSの主構成成分であると考えられる。また、クロロフィルa、b、cの比率から植物性プランクトン種の割合を推測³⁾してみると、中山谷川では緑藻類、珪藻類、藍藻

類の順に多かった。しかし、新池川では、その逆であり、上流から下流にいたるまで、同じ割合であり藍藻類、珪藻類、緑藻類が多く、特に藍藻類の割合が多いと推測された。

湖などでは富栄養化により有毒物質を含む藍藻類の *Microcystis* 等の大量発生によるアオコの問題がある。新池川では、クロロフィル濃度が高く、また藍藻類も多いことが推測されることから、有毒プランクトンの存在が懸念される。そのため、本調査では検鏡を行ったが、有毒プランクトンは検出されなかった。

木津神橋での水質の経日変化をみるため、9月15日から1日目、2日目、6日目の水質調査を行った。その結果を図-3(1)~(3)に示す。天候は晴天が続く、水温は1、2日目に29℃から28℃台に下がったが、6日目には31℃まで上昇した。クロロフィルaは1、2日目には87 $\mu\text{g}/\text{l}$ から約110 $\mu\text{g}/\text{l}$ まで増加したが、6日目には84 $\mu\text{g}/\text{l}$ になり減少した。6日間では、植物性プランクトン種の割合に関して大きな変化は見られなかったことから、短期間では種の変遷が起らないものと考えられる。また、CODと濁度はクロロフィルと同じ挙動を示さなかった。pHとDOは、6日目に最も高く、それぞれ9および12 mg/l になり、酸素飽和度も過飽和(150%)になった。これらの理由は、恐らく水温が上昇したため、プランクトンの生理活性が高まり、pHとDOが上昇したものと考えられる。しかし、6日目でクロロフィルは減少し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ が枯渇しているにもかかわらず、依然、木津神橋では高いクロロフィル濃度を維持していた。当然、観測時の栄養塩は見かけ上の値なので、実際には、これらの高い生物生産を維持する栄養塩(この場合、窒素)が供給され続けている事が考えられる。したがって、このような状態が継続すると更にpH、DOが上昇し、これらの値が新池川では慢性的に高くなることが推測される。

V まとめ

都市型河川である新池川の水質について、環境GISと現況調査により以下の事がわかった。

1. 近年、木津神橋ではpH、DO、SSの上昇傾向が見られる。
2. 水域全体で有機性汚濁と富栄養化が見られる。
3. 富栄養化により植物性プランクトンが繁殖しpH、DO、SSが高くなる。その結果、内部生産が高まり二次的な有機性汚濁が考えられる。
4. 植物性プランクトンの取り込みによる栄養塩の枯渇が見られた。上・中流と下流ではDIN/DIP比が異なりプランクトンの増殖は、それぞれ窒素、リンで制限されている可能性がある。
5. 今回の調査では、アオコを形成するプランクトン種は見られなかった。

新池川は、窒素、リンも多く、また物理的には下流に水門があり、さらに流下勾配が小さいため、流速がほとんどなく、植物性プランクトンが繁殖する条件が揃っている。そのため、条件さえ揃えば、栄養塩の枯渇するまで今回の様に高いクロロフィル濃度になることが推測される。したがって、植物性プランクトンの増殖を抑えるためには、流入する窒素とリン、中でもDINやDIPをまず削減することが必要である。また、栄養塩が減ることによってCOD内部生産が抑えられても、流入負荷として依然6割、COD_{min}として見積もられた5.8 mg/l 程度のCODは河川水中に存在する。したがって、これらの富栄養化物質や有機性汚濁物質を取り除き、浄化する方法が必要である。

その手段として、近年、植物と植栽基盤と微生物の浄化能力を利用したウエットランドシステムやバイオジオフィルターにより栄養除去する方法、あるいは製鉄過程で出てくる転炉スラグを生物学的・化学的栄養塩除去担体とする方法¹¹⁾が注目されている。また、魚の捕食の影響が食物連鎖を通じて、下位の植物性プランクトンや水質の順に影響することをTrophic cascade効果¹²⁾と呼ばれ、この効果を湖に利用し、人為的に生態系の構造を変え水質浄化を行うBiomaniipulation¹³⁾という方法も興味深い。しかし新池川は水域全体で水質汚濁しているため、広範囲にこれらの施設を維持・管理するのはコスト的には見合わないと考えられる。もちろん下水道整備はその手段として最も有効であるが多大な時間とコストを有する欠点がある。

それゆえ、流域住民による浄化施設の設置、旧吉野川からの導水、あるいは新池川防潮水門や排水による水質改善策は積極的に行われているが、最も迅速でしかも低コストで効果が大きいのは流域住民の自発的な生活系排水を減らす更なる取り組みと行政と連携した啓発活動ではないだろうかと考えている。今後、各排水口からの生活系流入負荷量を算定し、場所に見合った簡易で、しかも小規模な浄化方法を構築する方法も、また有効な手段として考えられる。

今回の調査でも、近年見られる高いSS濃度が観測された。SS濃度が高い理由は本研究により植物性プランクトンによるものと推測される。しかし1997年以降、SS濃度は上昇するが、COD濃度は上昇しておらず、むしろ横這いであり、必ずしもプランクトンだけでは説明できない。そこで、今後、SS上昇傾向の原因を調査研究し、効果的な水質改善対策の資料としたい。

VI 謝 辞

新池川についての情報を教えていただいた鳴門市経済部耕地課の皆さん、小松茂昭氏、採水や分析、データ整理にご協力いただいた細東和弘氏、河内まゆこ氏、宮崎絵梨氏に心から感謝いたします。

VII 参考文献

- 1) 財国土開発技術研究センター：土木調査事業（新池川排水機場総合診断評価検討）報告書，平成7年8月
- 2) 鳴門市：新池川において発生したフナの穴あき病に関する調査研究報告書，昭和53年7月
- 3) 日本分析学会北海道支部編：水の分析（第3版），化学同人（1992）
- 4) 徳島県：平成14年度公共用水域の測定結果
- 5) 有澤隆文他：栄養塩から見た吉野川第十の水質，平成13年度湖沼環境保全セミナー
- 6) 小西壽久他：河川における内部生産（I），徳島県保健環境センター年報，No.14（1996）
- 7) 村上哲生他：河口堰，講談社（2000）
- 8) 中西 弘：環境管理，30，4（1992）
- 9) 財日本水質汚濁研究協会編：湖沼環境調査指針，公害対策技術同友会（1982）
- 10) Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richard, F. A.: The influence of organisms on the composition of sea-water, *The Sea* vol. 2, 26-77, Inter Science
- 11) 財河川環境管理財団：河川整備基金事業 河川における水質環境向上のための総合対策に関する研究 平成13年11月
- 12) Carpenter S. R. , Kitchell J.F. & Hodgson J. R.: Cascading tropic interactions and lake productivity, *Bioscience*, 35, 634-639 (1985)
- 13) 花里孝幸：バイオマニュプレーション：ミジンコを用いた水質浄化，「河川湖沼の水質浄化技術の開発と汚染対策」，工業技術会，76-91