

# 芦田川下流域における下水道整備事業進捗が 水質改善に及ぼす効果とその特性について

津田 将行\* 尾島 勝\*\*

The Effects on Water Quality Improvement through the Make Progress Improvement Project  
in Downstream Regions of the Ashida River

Masayuki TSUDA\* and Masaru OJIMA\*\*

## ABSTRACT

This study looks at the current condition of sewer maintenance and examines if and to what degree this state has influenced changes in the water environment. The study included an area which sees little rain and a concentrated population, and one in which sewer maintenance has been carried out through urbanization and development. The qualities of the water investigated were: Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Nitrogen (T-N), and Total Phosphorus (T-P). The study was carried out across three locations: an area affected by sewage, an area not affected by sewage, and an area where these two areas have been joined for approximately fifteen years. The results reveal that in each of the measures the water quality has greatly improved.

キーワード：水質浄化、下水道整備、BOD、COD、T-N、T-P、溶解性、懸濁性

## 1. はじめに

芦田川の流域は広島・岡山両県にまたがり、広島県東部に位置する福山市を経て瀬戸内海に注ぐ流域面積 860km<sup>2</sup>、幹川流路延長 86km である<sup>1)</sup>。図-1 には芦田川流域の概略図を示す。この地域の気候は瀬戸内気候に属しており、年間降水量は上流部で約 1600mm、下流部で約 1200mm と全国平均の約 6~7 割程度の少雨地域である<sup>1)</sup>。これに加えて下流域では、生活用水、農業用水、工業用水などの水利用が盛んで、水利用率は約 9 割と極めて高く、平常時の河川流量は極端に少ない河川である<sup>1)</sup>。

そのため下流域での工業用水 17 万 m<sup>3</sup>/日を確保するための利水面と、河口部で洪水疎通機能と塩害の防除を目的として、河口から 1.2km 地点に堤長 450m(主ゲート 10 門)、貯水面積 2.5km<sup>2</sup>、利用水深 3m、有効貯水容量 496 万 m<sup>3</sup>の河口堰が 1981(昭和 56)年 6 月に完成した。しかし河口堰貯水池は常時満水位 T.P.+2.0m、湛水区間 8.0km と貯留する河道長が長いために、滞留時間の長期化に伴ってアオコが発生するなど水質悪化を招き、さらには内水面漁業および海域水産業への悪影響などの負の効果も指摘されている。

また、芦田川の中下流域では宅地開発により、都市周辺へ多くの人や産業が集中し、特に支川の高屋川や瀬戸川の流域では、下水道整備が追いつかず生活雑排水などが直接、河川へ流入して、水質汚濁が顕著に発現している。そして結果的に最下流の河口堰貯水池の水質悪化を進行させている。

---

\*大学教育センター講師 \*\*宮地茂記念館館長・福山大学名誉教授

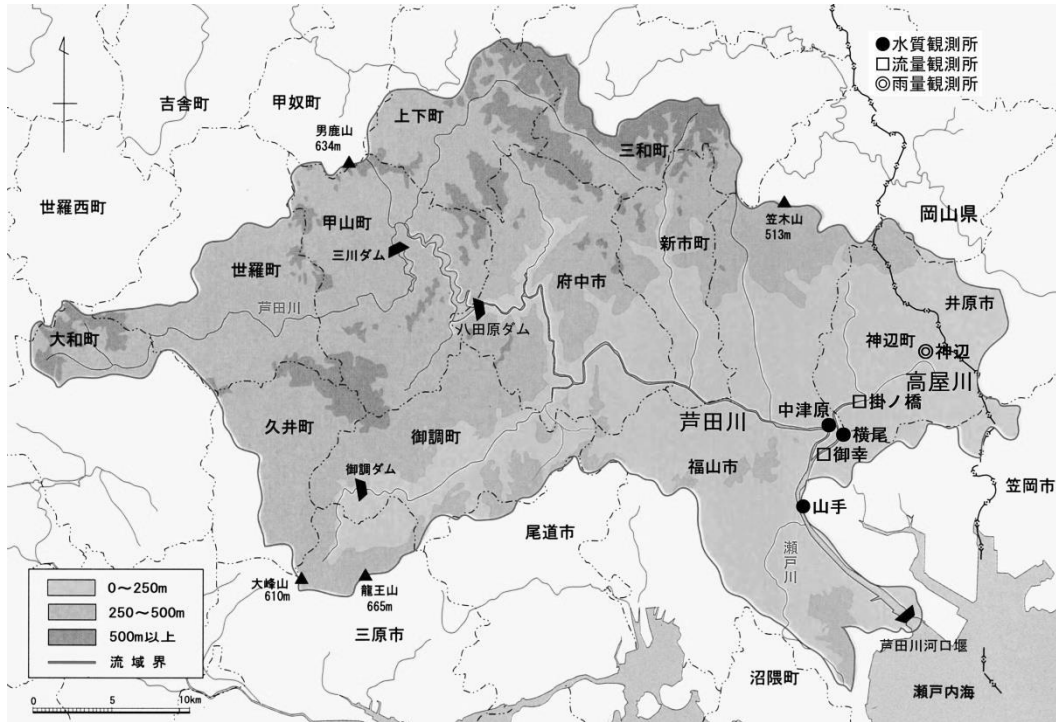


図-1 芦田川流域の概略図

そこで芦田川の下流域の水環境の改善を図るために、流域関係機関で構成する芦田川下流水質浄化協議会において、水環境改善緊急行動計画として、1996(平成 8)年 2 月に「清流ルネッサンス 21」、2003(平成 15)年 4 月に「第二期水環境改善緊急行動計画(清流ルネッサンス II)」、2008(平成 20)年 4 月に「第二期水環境改善緊急行動計画(変更)」、2012(平成 24)年 3 月に「第二期水環境改善緊急行動計画(第 2 回変更)」、2017(平成 29)年 3 月に「芦田川水環境改善アクションプラン」が策定され、環境基準の達成目標として、河川事業、下水道整備、および流域対策が実施されている。具体的には河川の直接浄化対策、浄化用水の導入、植生浄化施設の設置、下水道の整備促進、浄化槽の普及促進、生活排水浄化対策などの施策が総合的に進められている。

下水道事業の年次進捗に伴う河川流量および水質の変化について筆者ら<sup>2)</sup>は広島県三次市において、8 年間におよぶ現地調査分析から、その改善効果を明らかにした。しかしこれまで芦田川流域における下水道整備事業と河川の水質改善効果についての研究は行われていない。

そこで、本研究では公共用水域の水質調査分析データを用いて、芦田川下流域における下水道整備進捗に伴う河川流量および水質動向の特性の変化について、15 年間に調査対象とし、その改善効果を明らかにするものである。

## 2. 支川高屋川における地域特性の概要

支川高屋川は、本川芦田川の最下流から 10km 地点の左岸で合流する支川である。流域面積 142.3km<sup>2</sup>、河川延長 13.7km、そのうち国管理区間は 7.6km の一級河川である<sup>3)</sup>。図-2 に国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータ<sup>4)</sup>より高屋川流域における土地利用状況を示す。土地利用の割合を高い順に示すと、1991 年度は、森林が 57%、田が

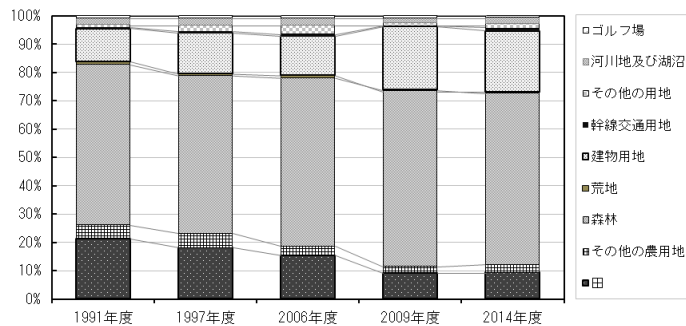


図-2 高屋川流域における土地利用状況

21%、建物用地が 12%、その他の農用地が 5%であった。2014 年度では、森林が 60%、建物用地が 21%、田が 9%、その他の農用地が 3%であり、この 23 年間で田やその他の農用地の割合が減り、逆に建物用地と森林の割合が増えている。増減を面積で示すと、田が 21km<sup>2</sup>、その他の農用地が 3km<sup>2</sup>それぞれ減少し、建物用地が 17km<sup>2</sup>、森林が 6km<sup>2</sup>それぞれ増加している。減少している田とその他の農用地を足した面積と、増加している建物用地と森林を足した面積はほぼ同値であることから、この 23 年間に、田とその他の農用地であった場所は、都市部や住宅街では建物用地に、山沿いに近い場所では耕作放棄等により森林へと変移しているものと推察する。

次に図-3 に高屋川流域内の人口、下水道普及率、合併浄化槽数、年間雨量および河川流量を示す。高屋川流域内の人口は、福山市の統計を元に算出した<sup>5)</sup>。1989 年は約 7 万 8 千人であり、経時変化とともに年々増加をしており、2016 年には約 9 万 3 千人であることから、この 28 年間で 1 万 5 千人、年に換算すると 1 年間に約 530 人ずつ増えていることになる。

下水道処理人口普及率と合併浄化槽については、国土交通省・福山河川国道事務所より情報を得たものを示す。下水道

処理人口普及率は、集計が可能であった 2007 年からの下水道処理人口普及率と下水道処理接続人口普及率を示す。下水道処理人口普及率とは、下水道の計画エリアの総人口に対する下水道を利用できる人口の割合であり、言い換えると下水道工事の進捗率である。2007 年は 34%であり、経時変化とともに増加し、2016 年には 54%となり、年に 2%ずつ整備されている。下水道処理接続人口普及率とは、下水道の計画エリアの総人口に対する下水道に接続している人口の割合であり、言い換えると実際に下水道に接続している人口の割合である。2007 年は 25%であり、2016 年には 45%であり、下水道処理人口普及率と同様に年に 2%ずつ増

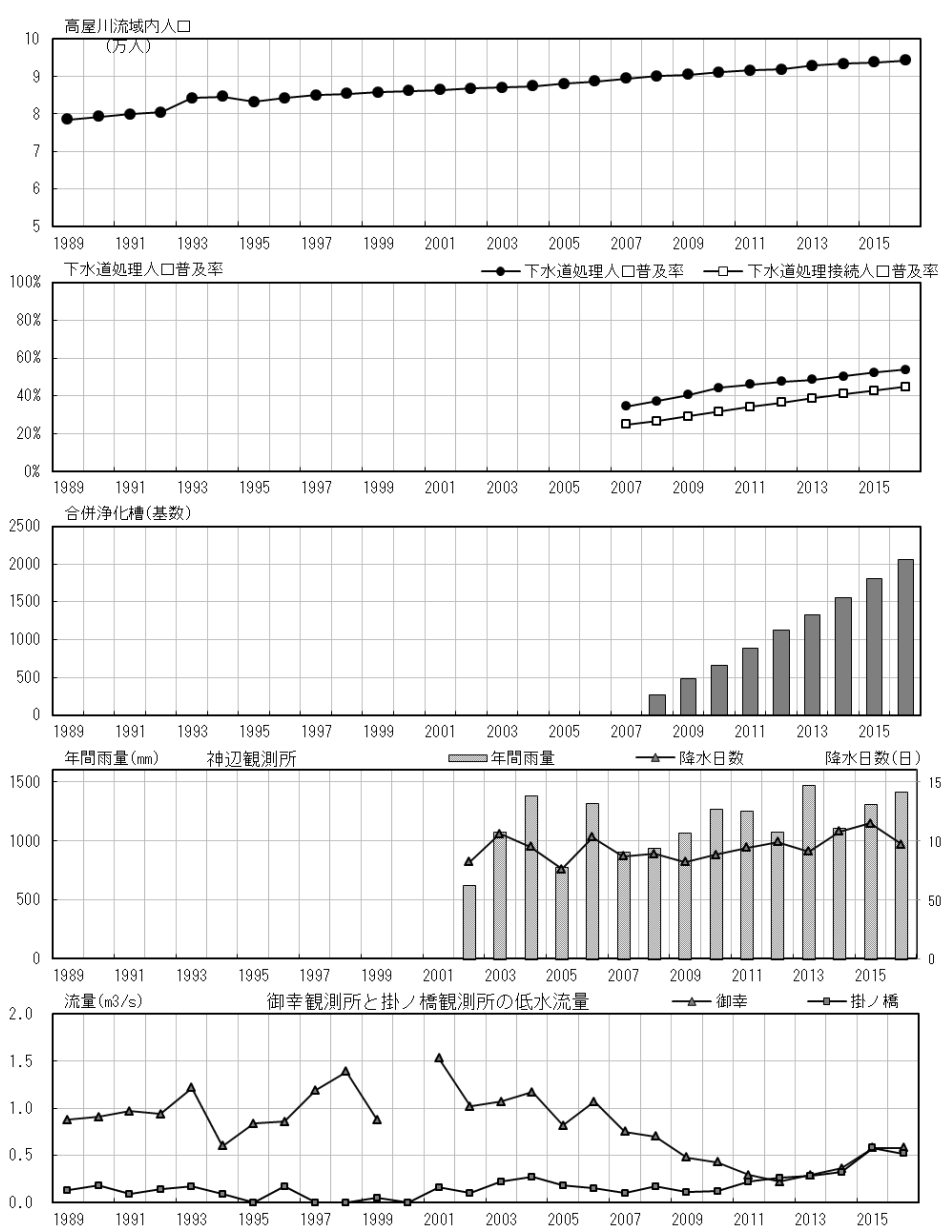


図-3 高屋川流域における人口変化、下水道処理人口普及率、合併浄化槽数、年間雨量および河川流量

加している。

また下水道の計画エリア外の下水対策としては合併浄化槽を設置しなければならない。合併浄化槽の設置基数については集計が可能であった 2008 年からのものを示す。図に示すとおり経時変化とともに概ね年間約 170~260 基の割合で設置されており、下水道の計画エリア外においても水質改善への施策が実施されていることがわかる。

次に年間雨量と河川流量について国土交通省が公開している水文水質データベースより該当する観測所のデータについてまとめた<sup>6)</sup>。年間雨量データは、高屋川流域内の雨量観測所である神辺雨量観測所(以下、神辺雨量と表記)の雨量データを、河川流量データは、高屋川の最下流から 2.6km の御幸流量観測所(以下、御幸流量と表記)、7km の掛ノ橋流量観測所(以下、掛ノ橋流量と表記)の流量データについてまとめた。それぞれの観測所の位置は図-1 に示した。

まず雨量データについて、神辺雨量の 2002 年から 2016 年までについて年間雨量が多いのは、2013 年の 1472mm、少ないのは 2002 年の 627mm、平均値は 1135mm であった。また降雨日数についてみると、降雨日数が多いのは 2015 年の 115 日、少ないのは 2005 年の 76 日、平均は 94 日であった。

次に河川流量について、河川流量を比較する場合に 1 年間の日流量の観測値を大きい順に並べたときに、95 日目、185 日目、275 日目、355 日目の流量をそれぞれ豊水流量、平水流量、低水流量、渇水流量と定められている。水質面から見た場合に重要となるのは低水流量や渇水流量である。すなわち一般的に低水流量や渇水流量は降雨の影響よりも、湧水や家庭排水の影響を受けやすいからである。上記で示した神辺雨量の降水日数の平均は 94 日であることから、低水流量については降雨よりも湧水、家庭雑排水や工場排水に起因すると考える。そこで、高屋川の 2 つの観測所の低水流量について比較する。1989 年から 2004 年までの平均値は御幸流量が 1.03m<sup>3</sup>/s、掛ノ橋流量が 0.11m<sup>3</sup>/s であり、御幸流量は掛ノ橋流量の 9.3 倍多い。しかし、2005 年から 2010 年までの平均値は、御幸流量が 0.71m<sup>3</sup>/s、掛ノ橋流量が 0.14m<sup>3</sup>/s であり、掛ノ橋流量は 1989 年から 2004 年の平均値と大きな差異はないが、御幸流量は少なくなっている。そして 2011 年以降は御幸流量と掛ノ橋流量の差はほとんどなく、2011 年から 2016 年までの平均値は、御幸流量が 0.39m<sup>3</sup>/s、掛ノ橋流量が 0.36m<sup>3</sup>/s とほぼ同値である。このことから 2011 年までは、御幸観測所と掛ノ橋観測所の間で家庭雑排水や工場排水等が高屋川に流入していたと考えられ、2011 年以降は両観測所の間で高屋川に流入していた家庭雑排水や工場排水等は下水道整備により下水道管を通して下水道処理場へ運ばれることにより、御幸流量と掛ノ橋流量がほぼ同値になったものと考えられる。

### 3. 水質項目の概要

芦田川と高屋川の水質項目については国土交通省が公開している水文水質データベースより該当する水質観測所のデータについてまとめた<sup>6)</sup>。検討対象とした観測所は、芦田川の中津原(最下流より 14km)、山手(最下流より 8.2km)、および高屋川の横尾(合流点から 3.1km : 以後、高屋川と表記)の 3 測点である。3 つの観測所は図-1 に示した。水質対象項目は、すべての観測所で BOD(生物化学的酸素要求量)、COD(化学的酸素要求量)、T-N(全窒素)、T-P(全リン)とする。そして山手については、上記の 4 項目に加えて溶解性 BOD、溶解性 COD、溶解性 T-N、溶解性 T-P を対象項目とする。またそれぞれの全量から溶解性成分量を差し引きしたものを懸濁性 BOD、懸濁性 COD、懸濁性 T-N、懸濁性 T-P として算出した。また、高屋川については上記の 4 項目に加えて SS(浮遊物質)、DO(溶存酸素)、アンモニウム態窒素、硝酸態窒素、オルトリン酸態リン、溶解性オルトリン酸態リン、およびクロロフィル a を対象項目とする。検討対象期間は清流ルネッサンスⅡが策定した 2003 年 1 月から 2017 年 12 月までの 15 年間とする。

### 4. 水質項目の年平均の動向の分析および考察

#### (1) 本川芦田川と支川高屋川の関係

図-4 に中津原、山手、高屋川の BOD の年平均値と、山手の溶解性 BOD と懸濁性 BOD の年平均

値を示す。中津原は 1.67~0.98mg/l の範囲にあり、2014 年以降は、1.2mg/l 以下と清流な水環境であ

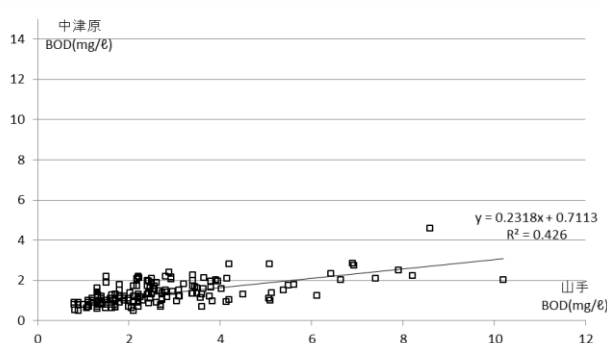
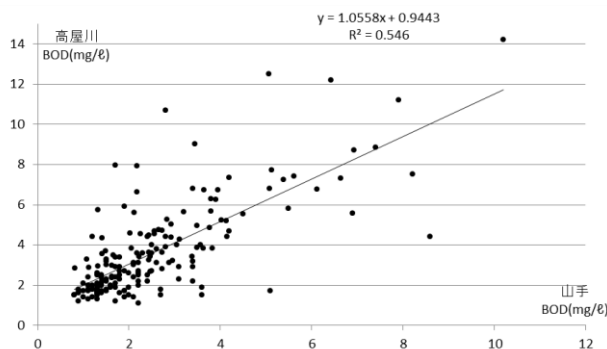
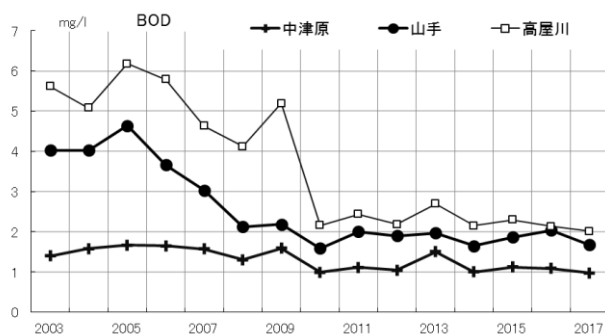


図-4 BOD の年平均値と  
山手の溶解性 BOD と懸濁性 BOD の年平均値

図-5 山手と高屋川の BOD の関係  
山手と中津原の BOD の関係

る。高屋川では、2005 年に 6.18mg/l と最も濃度値が高いが、その後経時変化とともに減少しており、特に 2009 年と 2010 年の差異が大きく 5.19mg/l から 2.16mg/l へと濃度値は半減している。この BOD 値の減少となった要因に関して、下水道計画エリア内における宅地開発によって、そこに建物の建設と、下水道への接続との関係等について詳細な検討が今後、必要である。2014 年以降は 2.3mg/l 以下であり、下水道整備率が高くなるにつれて水質は大きく改善している。芦田川と高屋川の合流後の観測点である山手の濃度値は、経時変化についてみると、中津原と高屋川の間で変動しており、高屋川の BOD が低くなると、山手の BOD も低くなっている。山手と高屋川の BOD の関係、山手と中津原の BOD の関係を図-5 に示す。山手と高屋川の相関係数は  $R^2=0.546(r=0.74)$ 、山手と中津原の相関係数は  $R^2=0.426(r=0.65)$  であることから、山手は高屋川の影響が大きいことがわかる。特に 2010 年以降の山手の BOD はほぼ 2.0mg/l 以下まで改善し清流な水環境であることがわかる。

次に山手の溶解性 BOD と懸濁性 BOD についてみると、下水道整備前の 2003 年~2005 年の平均値は溶解性 BOD が 1.71mg/l、懸濁性 BOD が 2.52mg/l であり、下水道整備期間中の 2015 年~2017 年の平均値は溶解性 BOD が 1.23mg/l、懸濁性 BOD が 0.63mg/l であり、溶解性、懸濁性ともに、下水道整備により濃度値が減少しており、懸濁性 BOD の減少量大きい。BOD に対する溶解性 BOD の割合についてみると、2005 年が 39% であるが、2017 年には 67% であった。このことから下水道整備前は懸濁性の割合が高いが、経時変化とともに、懸濁性の割合は低くなり、逆に溶解性の割合が高くなっている。この 2005 年から 2017 年の期間は、ちょうど BOD の値が低下した時期でもあり、下水道整備により懸濁性 BOD の河川への流入が少なくなったこと、また河川内での懸濁性 BOD である植物プランクトンや付着藻類等の生成が少なくなったことにより、BOD の改善につながったものと考えられる。

図-6 に中津原、山手、高屋川の COD の年平均値と、山手の溶解性 COD と懸濁性 COD の年平均値を示す。中津原は 3.81~3.02mg/l の範囲にあり、大きな変移はない。高屋川では、2004 年に 8.70mg/l と最も濃度値が高かったが、その後、経時変化とともに減少しており、2014 年以降は 6.0mg/l 以下

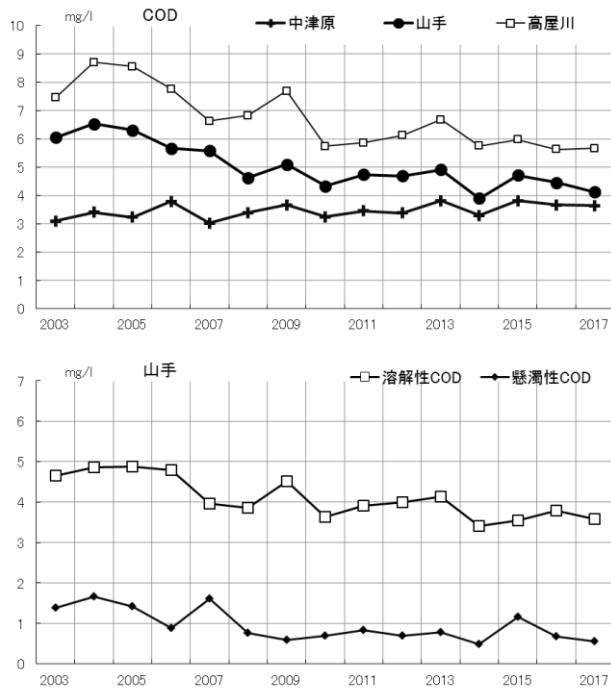


図-6 CODの年平均値と

山手の溶解性CODと懸濁性CODの年平均値

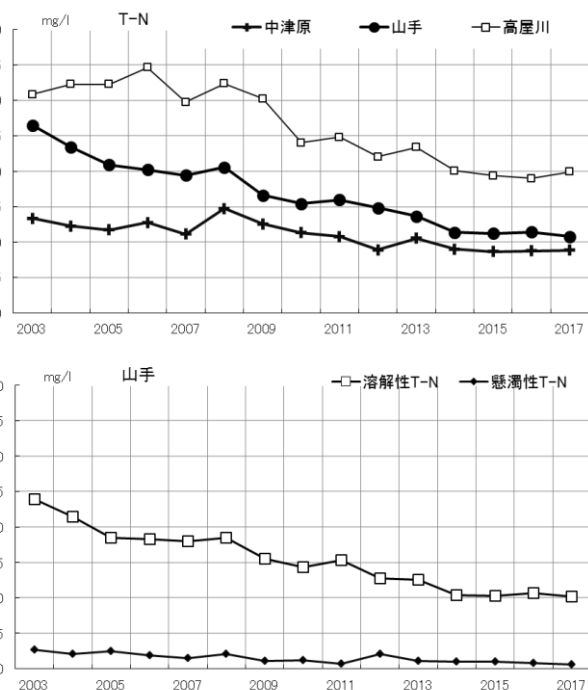


図-7 T-Nの年平均値と

山手の溶解性T-Nと懸濁性T-Nの年平均値

であり、下水道整備率が高くなるにつれて水質は大きく改善している。山手では2004年に $6.53\text{mg/l}$ と最も濃度値が高いが、その後、経時変化とともに減少し、2010年以降は $5.00\text{mg/l}$ 以下であった。山手のCODは、BODの変動と同様に中津原と横尾の間で変動しており、高屋川のCODが低くなると、山手のCODも低くなっていることから、高屋川の影響が大きいことがわかる。

次に山手の溶解性CODと懸濁性CODについてみると、2003年～2005年の平均値は溶解性CODが $4.80\text{mg/l}$ 、懸濁性CODが $1.49\text{mg/l}$ であり、2015年～2017年の平均値は溶解性CODが $3.64\text{mg/l}$ 、懸濁性CODが $0.79\text{mg/l}$ であり、溶解性、懸濁性ともに、経時変化とともに濃度値が減少しており、溶解性CODの減少量が多い。CODに対する溶解性CODの割合についてみると、2005年が78%であり、その後は経時変化とともに、その割合は高くなり、2017年には87%であった。今後、溶解性CODが低くなるのが、CODの改善につながるものと考えられる。

図-7に中津原、山手、高屋川のT-Nの年平均値と、山手の溶解性T-Nと懸濁性T-Nの年平均値を示す。中津原は $1.47\sim 0.87\text{mg/l}$ の範囲にあり、2012年以降は $1.0\text{mg/l}$ 以下であった。高屋川では、2004年に $3.47\text{mg/l}$ と最も濃度値が高いが、その後、下水道整備率が高くなるにつれて経時変化とともに減少しており、2014年以降は $2.0\text{mg/l}$ 以下まで改善している。また山手は、2003年の $2.65\text{mg/l}$ が最も高く、その後、BODやCODと同様に経時変化とともに減少しており、2014年以降は $1.2\text{mg/l}$ 以下であり、以前に比べて改善している。

次に山手の溶解性T-Nと懸濁性T-Nについてみると、2003年～2005年の平均値で溶解性T-Nが $2.13\text{mg/l}$ 、懸濁性T-Nが $0.24\text{mg/l}$ であり、2015年～2017年の平均値は溶解性T-Nが $1.04\text{mg/l}$ 、懸濁性T-Nが $0.08\text{mg/l}$ であり、溶解性、懸濁性ともに、経時変化とともに濃度値が減少しており、下水道整備によって、溶解性T-Nの減少量が多いことに起因して、T-Nが減少していることがわかる。T-Nに対する溶解性T-Nの割合についてみると、2005年が88%であったが、それ以降は、90%以上であった。このことから下水道整備率により、溶解性の割合が増えたものと考えられる。

図-8に中津原、山手、高屋川のT-Pの年平均値と、山手の溶解性T-Pと懸濁性T-Pの年平均値を示す。中津原は $0.08\sim 0.05\text{mg/l}$ の範囲にあり、あまり大きな変移はない。高屋川では、2005年に $0.30\text{mg/l}$ と最も濃度値が高いが、その後、経時変化とともに減少し、2013年以降は $0.20\text{mg/l}$ 以下であり、依

然に比べて水質が改善していることがわかる。山手は、2004年に0.20mg/lと最も濃度値が高いが、その後、BOD、CODおよびT-Nと同様に経時変化とともに減少している。2013年以降は0.10mg/l以下にまでに改善していることがわかる。

次に山手の溶解性T-Pと懸濁性T-Pについてみると、2003年～2005年の平均値で溶解性T-Pが0.12mg/l、懸濁性T-Pが0.06mg/lであり、2015年～2017年の平均値は溶解性T-Pが0.08mg/l、懸濁性T-Pが0.02mg/lであり、溶解性、懸濁性とも経時変化とともに濃度値は減少しており、2003年～2005年の平均値と2015年～2017年の平均値の減少量は、溶解性、懸濁性ともに0.04mg/lと同量であった。T-Pに対する溶解性T-Pの割合は、2005年が66%と溶解性の割合が多く、その後、経時変化とともに、溶解性の割合が高くなっており、2017年には83%であった。

### (2) 高屋川の水質項目の相互の関係

ここでは高屋川の横尾観測所における水質項目の相互の関係について検討を行う。表-1から、BODとアンモニウム態窒素、T-Nの相関が高く、またCODとT-Pの相関が高く、T-Nとアンモニウム態窒素、硝酸態窒素の相関が高く、T-Pとオルトリン酸態リン、溶解性オルトリン酸態リンの相関係数はそれぞれ高い数値を示している。しかし、BOD、COD、T-NおよびT-Pと光合成を行う植物プランクトンや付着藻類に含まれるクロロフィルa、浮遊物質であるSSおよび溶存酸素のDOとの相関係数の値は高くない。

一般的に窒素とリンは存在形態別にみると、有機態と無機態があり、またそれらはそれぞれ溶解性と懸濁性に分けられる。有機態かつ懸濁性の窒素やリンは植物プランクトンや付着藻類であり、また有機態かつ溶解性のものは植物プランクトン、付着藻類等の水生生物および水生植物等が死滅・分解する最初のプロセスで生成される。一方、無機態かつ溶解性のものは生物の死滅・分解の最終プロセスで生成される窒素では、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)、硝酸態窒素(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)であり、

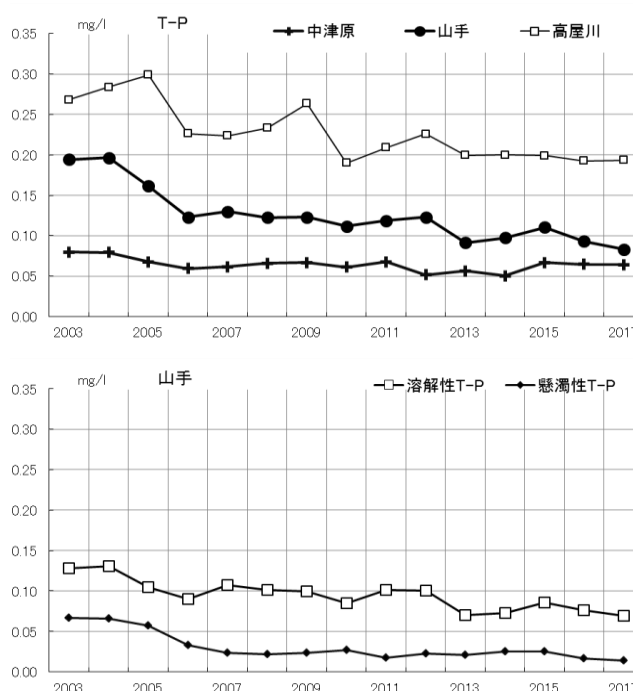


図-8 T-Pの年平均値と山手の溶解性T-Pと懸濁性T-Pの年平均値

表-1 高屋川（横尾）における水質項目の相関

	BOD	COD	SS	DO	アンモニウム態窒素	硝酸態窒素	T-N	オルトリン酸態リン	溶解性 オルトリン酸態リン	T-P	クロロフィルa
BOD	1.00										
COD	0.74	1.00									
SS	0.24	0.34	1.00								
DO	0.02	-0.07	-0.01	1.00							
アンモニウム態窒素	0.69	0.58	-0.05	0.28	1.00						
硝酸態窒素	0.15	-0.06	-0.15	0.59	0.36	1.00					
T-N	0.69	0.51	-0.05	0.38	0.84	0.68	1.00				
オルトリン酸態リン	0.28	0.55	0.00	-0.42	0.29	-0.37	0.08	1.00			
溶解性オルトリン酸態リン	0.26	0.49	-0.07	-0.47	0.23	-0.40	0.03	0.95	1.00		
T-P	0.63	0.80	0.32	-0.30	0.44	-0.23	0.30	0.80	0.75	1.00	
クロロフィルa	0.57	0.62	0.55	-0.06	0.16	-0.16	0.14	0.16	0.13	0.60	1.00

リンではオルトリン酸態( $\text{PO}_4^{3-}$ )であり、無機態かつ懸濁性のものは、これらのイオンが水中の浮遊物質などに吸着した形態として存在している<sup>7)</sup>。

高屋川において、植物プランクトンや付着藻類などの水生生物が有するクロロフィル a と BOD、COD、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、T-N、T-P との相関関係はあまりないことから、植物プランクトンや付着藻類によるアンモニア態窒素、硝酸態窒素、T-N、T-P の吸収・分解、有機物の生成による水質浄化効果よりも、下水道整備進捗率が高くなるにつれて家庭雑排水や工場排水等に含まれる有機物、窒素、リン等が下水道施設へ流入することで、高屋川の水質改善につながっているものと考えられる。

## 5. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 高屋川流域内の人口はこの 28 年で 1.5 万人増加していた。また土地利用について、この 23 年で田やその他の農用地として利用されたいたものが、都市部や住宅街では建物用地に、山沿いに近い場所では耕作放棄により森林へと変移しているものと推察する。下水道の計画エリアの下水道整備の進捗率も年々増え 2016 年に 54%に達し、下水道の計画エリア外でも合併浄化槽の設置数も増えている。
- 2) 高屋川の河川流量について、2011 年以降の御幸観測所と掛ノ橋観測所の 2 つの観測所の低水流量が同値であることから、この 2 つの観測所の間で高屋川に流入していたエリアの家庭雑排水や工場排水等は、下水道処理場へ運ばれていることがわかる。
- 3) 高屋川の BOD、COD、T-N および T-P の濃度値は、下水道整備により大きく改善している。また高屋川と芦田川が合流した山手観測所の濃度値も、高屋川の水質改善によって、清流な水環境へと変移していることがわかった。
- 4) 山手の BOD、COD、T-N、T-P の濃度値も、高屋川の濃度値の減少とともに減少し、水質は改善されている。各水質項目別にみると BOD は懸濁性、COD と T-N は溶解性、T-P は溶解性と懸濁性の両方の減少量が多かった。

謝辞：本研究の遂行にあたり、国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所より、芦田川流域地図、下水道整備率等の資料やデータの提供や協力をいただきました。ここに記して厚く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省中国地方整備局福山河川国道事務所(2008)「芦田川水系河川整備計画」、URL:<http://www.cgr.mlit.go.jp/fukuyama/river/project/index.html>
- 2) 尾島勝・津田将行(2008.2)「市街地小河川の水質改善に及ぼす下水道事業進捗の効果に関する調査」『水工学論文集』第 52 巻、pp.1123-1128.
- 3) 広島県(2011)「一級河川芦田川水系芦田川下流ブロック河川整備計画」、URL:<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/99/1172449971586.html>
- 4) 国土交通省国土政策局「国土数値情報ダウンロードサービス」、URL:<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-a.html>
- 5) 福山市「福山市の統計」、URL:<http://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/soshiki/johokanri/24115.html>
- 6) 国土交通省「水文水質データベース」、URL:<http://www1.river.go.jp/>
- 7) 有田正光(2007)『生物圏の環境』、p.144.