

## 大阪市内河川 20 年間の汚濁物質負荷量変動と下水処理水の影響

中尾賢志、西尾孝之

### Effects of wastewater treatment on the decrease in water pollutant loads in the rivers of Osaka city over a 20-year period

Satoshi NAKAO, Takayuki NISHIO

#### Abstract

Over a 20-year period, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), and total phosphorus (TP) were measured in the rivers of Osaka city and in effluents from wastewater treatment plants (WWTPs) draining into Neyu, Dainineya, and Hirano rivers of Osaka city and Osaka prefecture. The loads of these pollutants from rivers and WWTPs were estimated and the contributions of loads from upstream to mid- and down-stream areas in Osaka city were analyzed over the measured period. The TN load of the Okawa River, whose source is the Yodo River and Lake Biwa, decreased over the measurement period, whereas the TP load did not. The decrease in the TN load was most likely caused by improvement in the TN treatment process at the WWTPs located in the catchment areas of the Yodo River and Lake Biwa in order to remove ammonia for appropriate water purification in the downstream region. On the other hand, both the TN and TP loads in the area upstream Osaka city, Neyu, Dainineya, and Hirano rivers, decreased. These results suggest respective removal of TN and TP by the WWTPs in Osaka city and Osaka prefecture draining into these rivers were effective. Therefore, apparent simultaneous reduction of TN and TP loads have been achieved in these rivers as a whole due to the treatment applied in both Osaka city and Osaka prefecture. The observed decrease in pollutant loads (including BOD and COD) in the rivers of Osaka city over the 20-year measurement period is explained by the reduction in pollutant loads in WWTP effluents.

**Key words:** pollutants load, WWTP, eutrophication, oligotrophication

#### I 緒言

平成 16 年度を目標年度とした窒素・リンを含む第 5 次水質総量規制が工場又は事業場に適用されて 10 年以上が経過した(現在は第 7 次水質総量規制)。その間、規制 3 項目(COD、窒素、リン)の総量は順調に削減されてきた[1]。下水処理水が河川維持用水として 90%以上を占める都市部においては、総量規制基準の達成は下水処理場の努力によって実現される。また、総量規制制度は国の下水道施策と直結している。例えば「大阪湾流域別下水道整備総合計画」は、総量規制との整合性をとるように策定されており[2]、下水処理場の高度処理(三次処理)は総量規制の目標達成のために存在すると言っても過言ではない。しかしながら、高度処理の導入は自治体に莫大な財政的負担をかけることになり、特に古くから下水道を整備してきた大都市では合流式下水道が多いことも相まってその負担は更に増すことになる。

加えて、近年「貧栄養化」といった問題がクローズアッ

プされるようになってきている[3]。播磨灘では平成 11 年以降ノリの色落ちが発生するようになり[4]、平成 12 年には有明海においてもノリの色落ちが問題視されるようになった[5]。これらの原因として DIN(溶存無機態窒素)の供給不足が指摘されており[4]、これらの解決策として、ダムからの一時放流や下水処理場において冬季に排出基準値内での「窒素排出量増加運転」が試みられる[6]など、様々な対策がなされている。ただ、東京湾や伊勢湾、大阪湾等の閉鎖性水域における赤潮や青潮の発生が解消された訳ではなく、特定の水域において貧栄養化[7]が問題にされているに過ぎない。富栄養な海域において、総量規制の枠内ではあるが、DIN の排出を恣意的に多く排出し、ノリの色落ちを防止するといった対策は総量規制の本来の趣旨から逸脱するものであると言えよう。

上記のように、もはや国内 3 か所の閉鎖性水域を対象とし、一斉に当該水域を同じ手法で規制する総量規制制度は地域の実情を勘案すると必ずしも万能な施策

ではなくなっており、関連自治体が広域的にそれぞれの課題に対応した総量規制を行なう必要性が生じている。従って、環境省や国土交通省、農林水産省、関連自治体がそれぞれの閉鎖性水域にどれだけの栄養塩類が必要であるかを定量的に把握し、下水道施策もそれに合わせて高コストにならないような処理方式にするといった柔軟な政策転換が求められる。

本稿では、総量規制に窒素・リンが加わった第 5 次水質総量規制目標年度である平成 16 年度前後 10 年間でどの程度 COD や窒素、リンなどの汚濁物質が大阪市内河川で減少したかを把握するとともに、それらへの下水処理場の寄与を定量的に明らかにした。

## II 方法

### 1) 市内河川の水質分析と河川汚濁負荷量の算出

総量規制対象項目は COD、全窒素および全リンであるが、ここでは COD との比較のため有機(炭素)汚濁物質の指標の一つである BOD についても解析した。

市内河川を上流域、中流域、下流域に分け、代表的な河川観測定点 8 点(図 1)について、平成 6 年度から 25 年度までの 20 年間、BOD と COD については毎月、全窒素と全リンについては年 4 回(5, 8, 11, 2 月)(平成 11 年度までは年 6 回(5, 7, 9, 11, 1, 3 月))、6 時間毎に 1 日分を採水して混合したコンポジット試料を JIS K 0102 に基づいて分析したデータを用いた。なお、大阪市内河川の流量は、実測したデータがないため、平成 21 年度に新矢が推計したデータ[8]を用い、対象とした 20 年間の流量は一定と仮定して河川への汚濁負荷量を算出した。なお、寝屋川の採水点については、以降に流入する支流や下水放流口がない最下流の採水地点のデータを採用すべきであるが、その採水点における窒素・リンの測定データがない期間があるため、上流部ではあるが全項目(BOD、COD、全窒素、全リン)が揃う採水地点のデータに、寝屋川下流にある A 下水処理場からの負荷量を加算して求めた。また、コンポジット試料であるため特に下流域は感潮河川特有の海水の遡上による希釈を考慮すべきであり、負荷量を低く見積もってしまう可能性がある。しかしながら、負荷量の正確な算出が非常に複雑になるので本解析では考慮しなかった。

### 2) 下水処理場からの汚濁物質負荷量の算出

大阪市内河川の汚濁物質負荷量は低下傾向にあり、その大きな要因として市内上流域に位置する大川の導水源である淀川の水質改善および寝屋川、第二寝屋川、平野川の汚濁物質負荷量の減少が考えられた。大川の水質改善は琵琶湖・淀川流域の下水道整備による水質改善が原因[9]であると考えられる。本稿では寝屋川、第二寝屋川、平野川(左記 3 河川を「寝屋川水

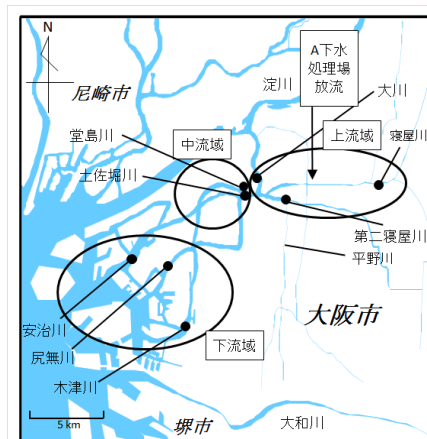


図 1 大阪市内河川 観測定点(8 点)

域」とする)に放流する下水処理場からの負荷量を定量的に見積ることにより、順次整備(府の 1 施設は平成 10 年度まで淀川に放流、府の 2 施設は平成 22 年度から稼働)されてきた効果を検証することとした。その際、放流水質・水量データは、大阪府と大阪市の下水道部局による編集・発行の下水処理場維持管理年報を参考とした。それらを用いて、寝屋川水域に放流される下水処理場 9 施設(府: 5 施設、市: 4 施設)の流入・放流汚濁物質負荷量を算出した。ただし、守口処理場の寝屋川水域への寄与率は水量ベースで 0.54%である([2]を参考に算出)ことから、守口処理場は省いた。

## III 結果および考察

### 1) 大阪市内河川の汚濁負荷量

#### (1) 市内河川有機物負荷量

平成 6~25 年度の大阪市内河川の BOD 負荷量変化を図 2 に示す。BOD 負荷量は 20 年間で減少傾向にあった。中流域の BOD 負荷量は平成 6~11 年度は上流域よりも高かったが、平成 12 年度以降はほぼ同じ値で収支がとれていた。平成 17~18 年度にかけて上流域と下流域で負荷量が高くなった原因は不明である。一方、下流域の BOD 負荷量は上流域や中流域と比較して低くなる傾向にあり、特に平成 6~11 年度は 3 分の 2 から半分程度であった。下流域における下水処理場からの負荷を考慮すると、中流域から下流域に流下する間に水質が改善したのではなく、海水中には淡水中の微生物に有害な物質が存在することが多くの学者により認められていることから、海水の影響の可能性が考えられる[10]。

表 1 に各流域の河川別に算出した BOD 負荷量(3 年間の平均値)の変遷を示す。BOD 負荷量は 20 年間で上流域では 58%、中流域では 62%、下流域では 53%それぞれ減少した。市内に流入する上流域の大川の BOD 負荷量の減少率は 20 年間で 63%であり、琵琶湖・淀川流域の下水道整備の進展[9]によるものと考

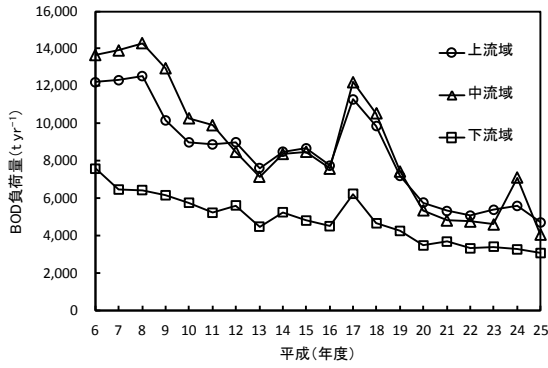


図 2 大阪市内河川 BOD 負荷量変化

表 1 大阪市内河川 BOD 負荷量の変遷 (t yr<sup>-1</sup>)

3年間の 平均値	上流域			中流域			下流域		
	大川	寝屋川	第二寝屋川・平野川	堂島川	土佐堀川	安治川	尻無川	木津川	
平成6-8年度	4,910	2,717	4,721	6,393	7,561	3,672	1,110	2,039	
計	12,348			13,954			6,821		
平成13-15年度	2,878	2,351	3,023	3,499	4,498	2,613	686	1,538	
計	8,252			7,997			4,837		
平成23-25年度	1,829	1,427	1,960	2,545	2,700	1,800	452	984	
計	5,216			5,245			3,238		

えられる。また、寝屋川、第二寝屋川・平野川水系はそれぞれ 47%、58%減少した。大阪市内の下水道整備は、既に昭和 55 年には「普及率が 98%を超えており、各区ごとで順次 100%に達している」[11]が、下水処理プロセスがこの間に高度処理化されたこと、および大阪市域より上流域の河川での下水道整備により[12]、BOD は減少傾向を示したと考えられる。

次に、平成 6~25 年度の大阪市内河川の COD 負荷量変化を図 3 に示す。COD 負荷量は、平成 6~16 年度の間は減少傾向にあったが平成 17 年度以降はどの流域でもほとんど変化しなかった。中流域の COD 負荷量は平成 6~11 年度は上流域よりも高かったが、平成 13 年度以降はほぼ同じ値で収支がとれており、近年では下流域も含めて収支がとれている状況である。

表 2 に各流域の河川別に算出した COD 負荷量の変遷を示す。20 年間で上流域では 37%、中流域では 45%、下流域では 22% COD 負荷量はそれぞれ減少した。大川の COD 負荷量の減少率は 20 年間で 36%、寝屋川で 32%、第二寝屋川・平野川で 43%となった。また、COD は BOD よりも負荷量の減少率は総じて低く、BOD 負荷量が減少しても必ずしも COD 負荷量が同じようには減少しなかった(表 1, 2)。そこで「BOD/ COD」で比べてみると、図 4 に示すように各流域で「BOD/ COD」が減少していることが分かる。この原因として、下水処理による BOD 成分である易分解性有機物の除去率は向上したが、比較的処理しにくい難分解性有機物を含む COD 成分の除去率は BOD 除去率ほど向上しなかったことが示唆される。

また、平成 6~11 年度の上流域と中流域の BOD と COD 負荷量が平成 12 年度に逆転する現象は、府の

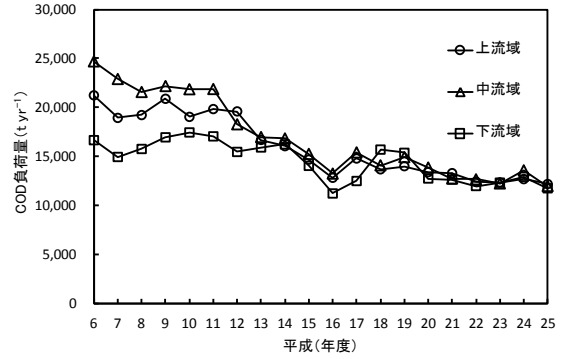


図 3 大阪市内河川 COD 負荷量変化

表 2 大阪市内河川 COD 負荷量の変遷 (t yr<sup>-1</sup>)

3年間の 平均値	上流域			中流域		下流域		
	大川	寝屋川	第二寝屋川・平野川	堂島川	土佐堀川	安治川	尻無川	木津川
平成6-8年度	10,648	3,399	5,744	11,287	11,771	8,787	2,249	4,745
計	19,791			23,058		15,781		
平成13-15年度	8,574	2,854	4,367	8,118	8,234	8,364	2,235	4,788
計	15,795			16,352		15,387		
平成23-25年度	6,800	2,305	3,288	6,550	6,044	6,910	1,694	3,716
計	12,393			12,594		12,320		

下水処理場 1 施設が平成 10 年度まで寝屋川水域にではなく淀川に放流していたことに関する可能性があるが、ここでは負荷量を含めた詳細な検討はしていない。

(2) 市内河川栄養塩類負荷量

平成 6~25 年度の大阪市内河川の全窒素負荷量変化を図 5 に示す。全窒素負荷量は 20 年間で減少傾向にあった。上流域と中流域、下流域の負荷量は平成 6~11 年度は収支がとれていなかったが、平成 12~15

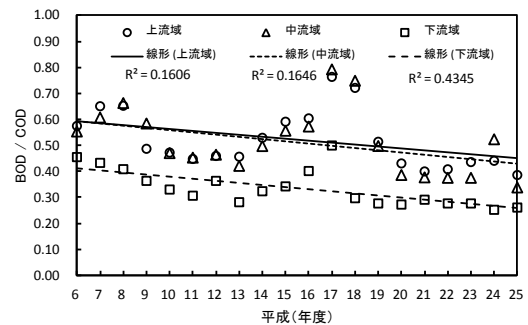


図 4 大阪市内河川 BOD/ COD 変化

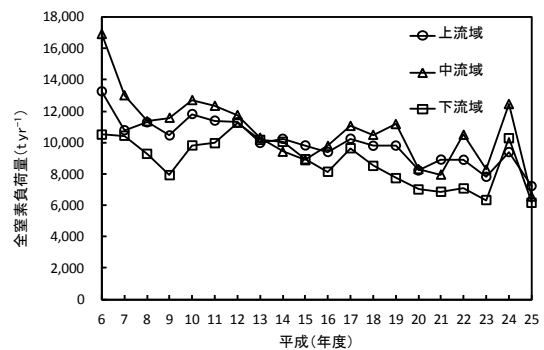


図 5 大阪市内河川全窒素負荷量変化

表 3 大阪市内河川全窒素負荷の変遷 (t yr<sup>-1</sup>)

3年間の 平均値	上流域			中流域		下流域		
	大川	寝屋川	第二寝屋川・平野川	堂島川	土佐堀川	安治川	尻無川	木津川
平成6-8年度	4,185	2,740	4,855	6,188	7,575	4,106	1,530	4,437
計		11,780		13,763		10,073		
平成13-15年度	3,380	2,330	4,299	4,118	5,414	4,110	1,442	4,165
計		10,009		9,532		9,717		
平成23-25年度	3,121	1,812	3,212	4,653	4,443	3,441	1,177	2,971
計		8,145		9,096		7,589		

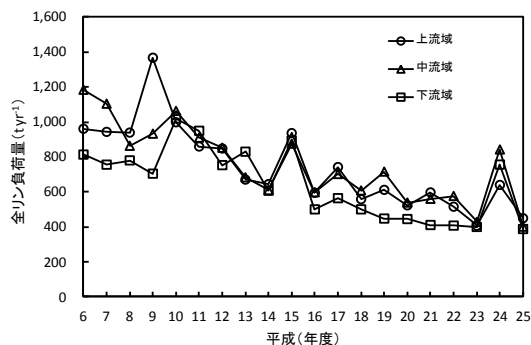


図 6 大阪市内河川全リン負荷量変化

表 4 大阪市内河川全リン負荷の変遷 (t yr<sup>-1</sup>)

3年間の 平均値	上流域			中流域		下流域		
	大川	寝屋川	第二寝屋川・平野川	堂島川	土佐堀川	安治川	尻無川	木津川
平成6-8年度	267	221	460	458	593	335	136	313
計		948		1051		784		
平成13-15年度	281	168	301	319	404	432	120	225
計		750		723		777		
平成23-25年度	235	95	169	288	270	272	83	160
計		499		558		515		

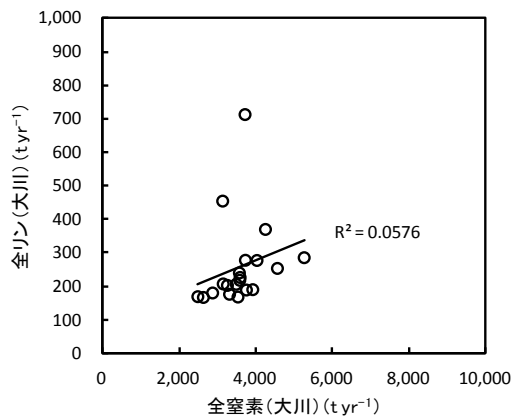


図 7 大川における全窒素と全リンの相関関係

年度はほぼ収支がとれていた。しかし、再び平成 16~24 年度は収支がとれていない状況が続き、直近の平成 25 年度はほぼ収支がとれている状況である。

表 3 に各流域の河川別に算出した全窒素負荷量の変遷を示す。20 年間で上流域では 31%、中流域では 34%、下流域では 25%全窒素負荷量はそれぞれ減少した。

次に、平成 6~25 年度の大阪市内河川的全リン負荷量変化を図 6 に示す。全リン負荷量は 20 年間で減少傾向にあった。上流域と中流域、下流域の負荷量は平成 6~9 年度は収支がとれていなかったが、平成 10~15 年度は収支がとれていた。しかし、再び平成 16~22 年度は収支がとれていない状況が続き、近年ではほぼ収支がとれている状況である。

表 4 に各流域の河川別に算出した全リン負荷量の変遷を示す。20 年間で上流域では 47%、中流域も 47%、下流域では 34%全リン負荷量はそれぞれ減少した。ただ、大川的全リン負荷量の減少率は 20 年間で 12%しかなく、寝屋川は 57%、第二寝屋川・平野川で 63%となり寝屋川水域の全リン負荷量の減少が突出する結果となった。この原因は明らかではないが、琵琶湖・淀川水系の下水処理場において有機物と栄養塩類の削減努力がなされたこと、および上水水質の改善要求に応えるため有機物と窒素削減の努力がなされたことが考えられる。また、トリハロメタン生成抑制を達成するためにはアンモニアとトリハロメタン前駆物質としての有機物の削減が必要であり、その結果、トリハロメタンだけでなく、いわゆるカルキ臭(クロラミン類)の抑制を目指したことも一因だと思われる。そうしたことから、琵琶

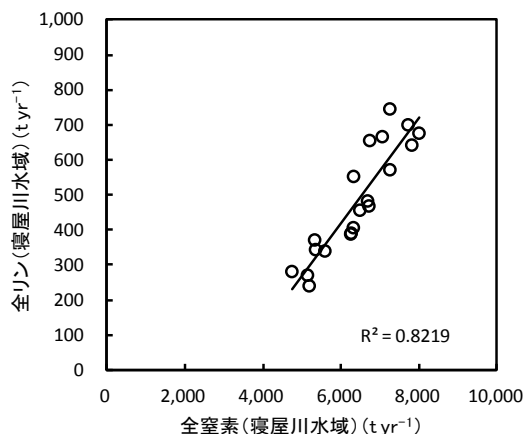


図 8 寝屋川水域河川における全窒素と全リンの相関関係

琵琶湖・淀川水系の下水処理場では有機物と窒素優先の処理方法がとられることになり、リン除去の優先順位は低くなったのではないかと推測される。

しかしながら、他の上流域の河川(寝屋川水域(寝屋川、第二寝屋川、平野川))でのリンを含む汚濁負荷量低下は著しく、下水道整備が琵琶湖・淀川水系と同じく急速に進んだことが要因と考えられる。ただ、寝屋川水域のみ全リン負荷量が低下した理由は明らかではなく、例えば大川と寝屋川水域の年度毎の全窒素と全リンの相関性(図 7, 8)をみると、大川は全窒素と全リンにほとんど相関は見出せないが、寝屋川水域の河川では比較的強い相関を見出すことができる。これは大川の導水源である淀川はこの 20 年間で全窒素が優先的に減少してきたのに対して寝屋川水域では全窒素と全リンがほぼ同じ削減率で減少してきたことを示唆する。大阪

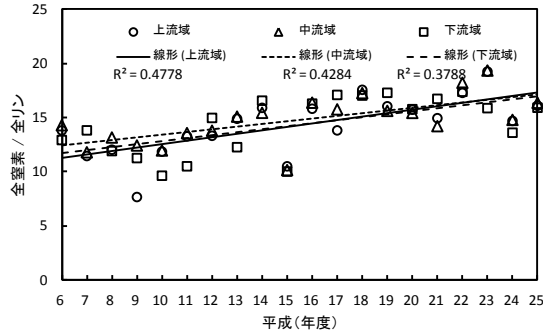


図 9 大阪市内河川全窒素/全リン変化

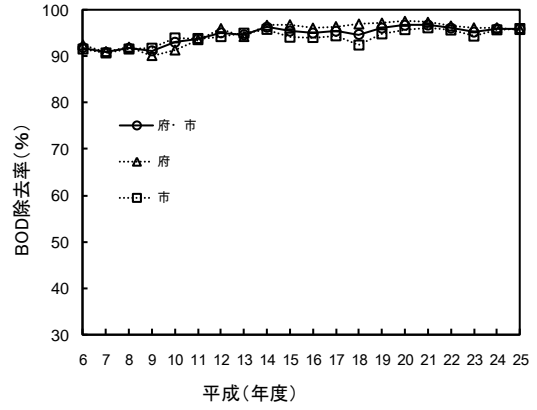


図 11 寝屋川水域の下水処理場の BOD 除去率

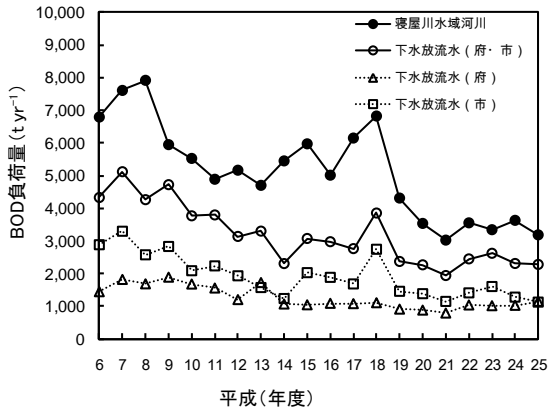


図 10 寝屋川水域河川と下水処理場放流水の BOD 負荷量

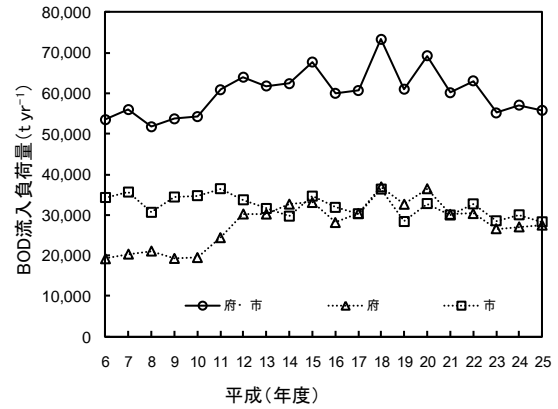


図 12 寝屋川水域の下水処理場流入水の BOD 負荷量

市内河川汚濁負荷量の「全窒素/全リン」(TN/TP)の経年変化は、この 20 年間でリンに対する窒素の負荷量の比が高くなっている(図 9)。これは、主に無機凝集剤による物理化学的除去が容易である全リンの処理に対して、全窒素の処理は長い HRT(水理的滞留時間)を必要とし、やや不安定な生物学的硝化脱窒法をとるので全リンに比べて除去効率が低いことが原因だと考えられる。次項では、寝屋川水域の 20 年間の汚濁物質低下を定量的に把握するために寝屋川水域に放流する下水処理場の汚濁物質負荷量を明らかにする。

## 2) 寝屋川水域下水処理場からの汚濁負荷量

### (1) 下水処理場放流水による有機物負荷量

図 10 に大川を除く上流域の河川(寝屋川水域:寝屋川、第二寝屋川、平野川)の BOD 負荷量と、寝屋川水域に放流している下水処理場からの BOD 負荷量を示す。図中の「(府・市)」は府と市の下水処理場を合わせた負荷量もしくは除去率を示す。

平成 6 年度に 6,800 t yr<sup>-1</sup>だった寝屋川水域河川の BOD 負荷量は平成 25 年度には 3,200 t yr<sup>-1</sup>となり半減した。府の流域下水処理場と市の公共下水処理場からの BOD 負荷量は、平成 6 年度は 4,300 t yr<sup>-1</sup>で、平成 25 年度には 2,300 t yr<sup>-1</sup>となりこれもほぼ半減した。河川の BOD 負荷量に占める下水処理水の BOD 負荷量

の割合は、平成 6 年度の 63%から平成 25 年度の 72%と上昇した。

平成 6 年度の府と市の寝屋川水域下水処理場の BOD 除去率は図 11 に示すように 92%で、平成 21 年度の 97%をピークに近年は 96%前後と高い除去率を示し安定している。

府と市の下水処理場における流入 BOD 負荷量は 52,000~73,000 t yr<sup>-1</sup>で変動した(図 12)。特に平成 18 年度は BOD 流入負荷量が増加し、市の下水処理工程に大きく影響したと思われる。その結果、BOD の除去率は低下し(図 11)、アンモニア態窒素の硝化不足による N-BOD の増加が生じたと考えられる[13]。その結果、河川中の平成 18 年度の「BOD / COD」が高くなったと推測する(図 4)。

一方、図 13 に寝屋川水域の COD 負荷量と、寝屋川水域に放流している下水処理場からの COD 負荷量を示す。

平成 6 年度に 9,200 t yr<sup>-1</sup>だった寝屋川水域河川の COD 負荷量は平成 25 年度には 5,500 t yr<sup>-1</sup>となり 4 割減少した。寝屋川水域にある府と市の下水処理場からの COD 負荷量は、平成 6 年度は 5,900 t yr<sup>-1</sup>で、平成 25 年度には 4,900 t yr<sup>-1</sup>となり約 2 割減少した。第 5 次総量規制の目標年度である平成 16 年度より以前の 10 年間で河川中の COD 負荷量が急激に減っているのは、

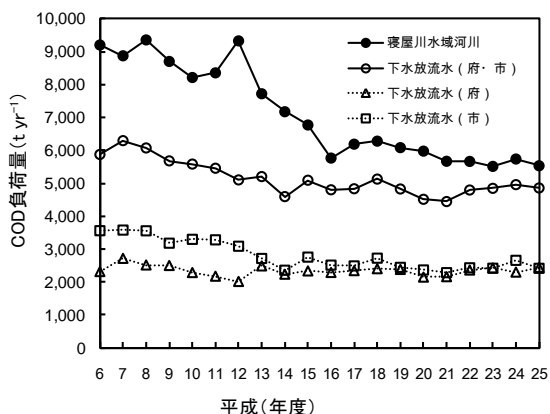


図 13 寝屋川水域河川と下水処理場放流水の COD 負荷量

寝屋川水域における下水道普及率が上昇したためだと考える。河川の COD 負荷量に占める下水処理水の COD 負荷量の割合は、平成 6 年度の 64%から、平成 25 年度の 89%へと上昇した。これは現在の河川中 COD の 9 割は下水処理場由来であることを示しており、近年では河川と下水処理場放流水の COD 負荷量の差が約 700 t yr<sup>-1</sup>の差で一定している(図 13)。

図 14 に寝屋川水域の下水処理場の COD 除去率を示した。平成 6 年度の府と市の COD 除去率は 83%で、平成 20 年度の 89%をピークに近年は下降して横ばい状態であるが、平成 25 年度は 87%と比較的高い除去率を示し安定してきている。これは BOD と同じ傾向であった。

(2) 下水処理場処理水の栄養塩類負荷量

図 15 に寝屋川水域の全窒素負荷量と、寝屋川水域に放流している下水処理場からの全窒素負荷量を示す。平成 6 年度に 8,000 t yr<sup>-1</sup>だった寝屋川水域河川全窒素負荷量は平成 25 年度には 4,700 t yr<sup>-1</sup>となり 41%減少した。府の流域下水処理場と市の公共下水処理場からの全窒素負荷量は、平成 6 年度は 7,300 t yr<sup>-1</sup>で、平成 25 年度には 5,300 t yr<sup>-1</sup>となり 27%減少した。河川の下水処理水が占める全窒素負荷量の割合は平成 6 年度の 91%から、平成 25 年度の 113%となり、平成 20 年度以降逆転傾向がみられる。特に、平成 23 年

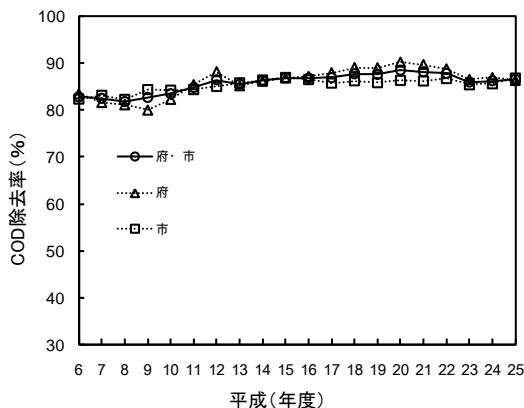


図 14 寝屋川水域の下水処理場の COD 除去率

度以降の寝屋川水域河川負荷量は下水処理場処理水負荷量の方が河川水負荷量を大きく上回っている(図 15)。これは河川水中において硝化脱窒反応が生じている可能性が考えられるが、いずれにしても河川中の全窒素はほぼ下水処理場由来であることを示している。

図 16 に寝屋川水域の下水処理場へ流入する下水の全窒素負荷量を示す。府と市の流入全窒素負荷量は 11,600~14,300 t yr<sup>-1</sup>の範囲で変動した。平成 16 年度から平成 21 年度にかけて府の下水処理場の窒素流入負荷量が上昇しているのは、BOD 負荷量と同様に府の流域下水道の普及率が上昇したことを反映しているが、適切に処理された結果、放流水負荷量は抑制されたと考えられる。

平成 6 年度の府と市の下水処理場における全窒素除去率は 38%であったものが、平成 25 年度には 59%になった(図 17)。この間に窒素除去を目的とした硝化脱窒法の導入が進んだことによると考えられる。

一方、平成 6 年度に 680 t yr<sup>-1</sup>であった寝屋川水域河川の全リン負荷量は平成 25 年度には 280 t yr<sup>-1</sup>となり 59%減少した(図 18)。府の流域下水処理場と市の公共下水処理場からの全リン負荷量は、平成 6 年度は 520 t yr<sup>-1</sup>で、平成 25 年度には 260 t yr<sup>-1</sup>となり半減した。河川の全リン負荷量に対して下水処理水の全リン負荷

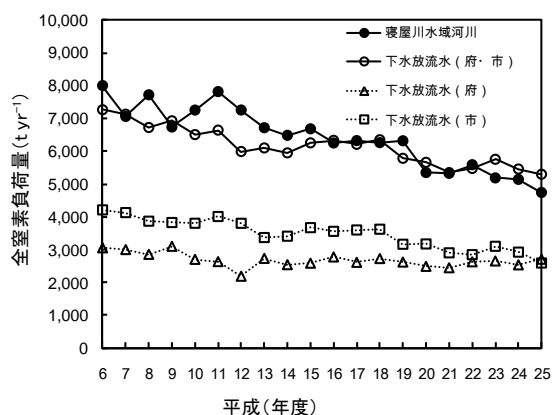


図 15 寝屋川水域河川と下水処理場放流水の全窒素負荷量

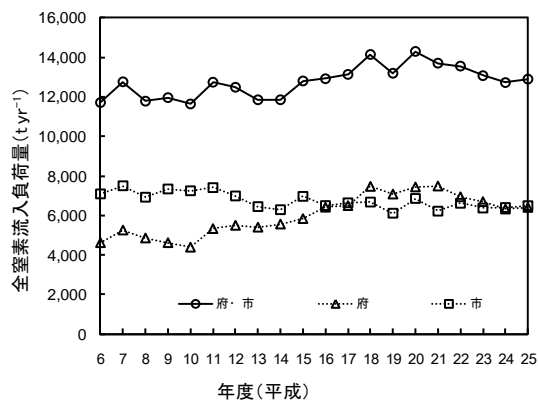


図 16 寝屋川水域の下水処理場流入水の全窒素負荷量

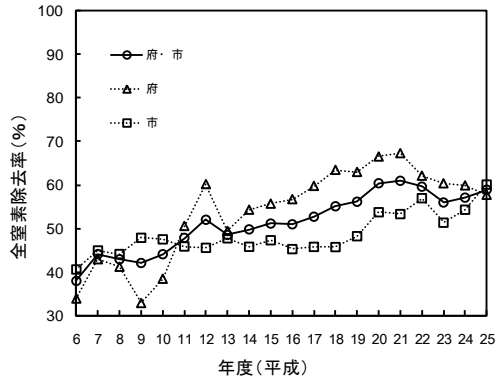


図 17 寝屋川水域の下水処理場の全窒素除去率

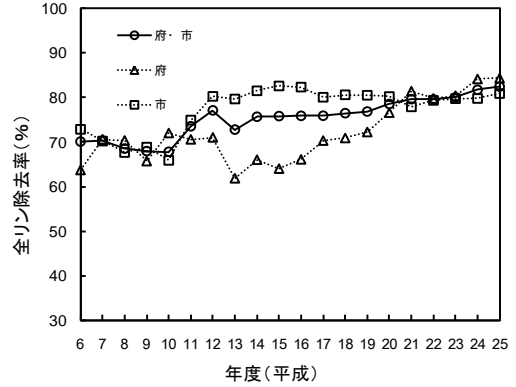


図 20 寝屋川水域の下水処理場の全リン除去率

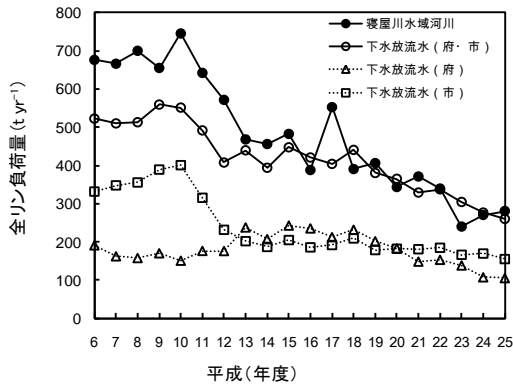


図 18 寝屋川水域河川と下水処理場放流水の全リン負荷量

量が占める割合は、平成 6 年度の 76%から、平成 25 年度の 93%と上昇した。

平成 19 年度頃から河川全リン負荷量と下水処理場放流水全リン負荷量がほぼ一致したのは、下水道の普及率が上昇したことによると考えられる。

寝屋川水域の下水処理場へ流入する下水の全リン負荷量は、1,500~1,900 t yr<sup>-1</sup>で変動した(図 19)。

図 20 に寝屋川水域の下水処理場の全リン除去率を示した。平成 6 年度の府と市の全リン除去率は 70%であったが、徐々に向上して平成 25 年度には 83%になった。この間に除去率が 1.2 倍に向上した原因は、平成 16 年度を目標年度として平成 11 年度から始まった

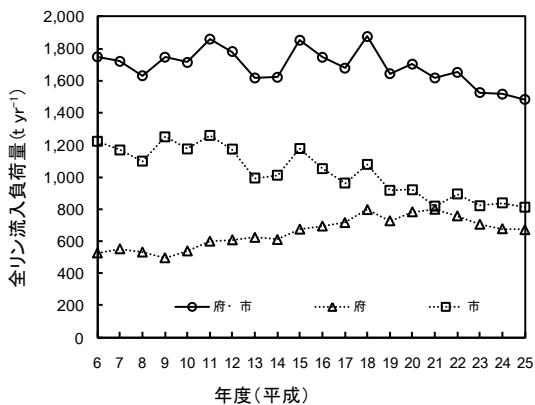


図 19 寝屋川水域の下水処理場流入水の全リン負荷量

第 5 次水質総量規制以降に窒素とリンが追加項目となり下水処理場での運転変更や無機凝集剤の添加などの努力の成果だと考えられる。

最後に府と市の下水処理場の全窒素と全リンの除去率を比較し、大阪の下水道における現状と課題、展望について考察する。

図 21 と図 22 に府と市の寝屋川水域の下水処理場の全窒素と全リンの年度毎の除去率の関係を示す。府市ともに殆ど相関は認められず、窒素とリンは同時に除去されていない。しかし、上記の結果は図 8 の寝屋川水域河川中の全窒素と全リン負荷量に相関が認められる結果と矛盾する。そこで、府と市の下水処理場における流入水負荷量と放流水負荷量の合算値から全窒素・全リンの除去率を求めたところ、平成 6 年度から 25 年度までの年度毎の除去率に強い相関が求められた(図 23)。これは府と市全体からみれば、下水処理工程の高度化に伴う窒素とリン除去が調和しており、寝屋川水域に放流する下水処理場全体では全窒素と全リンの同時除去が達成されていたことになる。

### 3) 寝屋川水域下水処理場における窒素とリン除去

表 5 に寝屋川水域下水処理場の処理方式の変遷を示す。府の流域下水道は平成 21 年度まで 3 処理場で、平成 22 年度から 2 処理場(「ハ」処理場と「ホ」処理場)稼働し、現在では 5 処理場となっている。「イ」処理場では平成 16 年度に一部窒素とリン同時除去に対応した A<sub>2</sub>O 法(嫌気無酸素好気法)が導入され、平成 22 年度から稼働し始めた 2 処理場も A<sub>2</sub>O 法および窒素とリンの同時除去に対応した施設となっている。市の公共下水道は標準法をベースにした擬似 AO(嫌気好気法)法が導入されている。「擬似」AO 法は AO 法に似せた処理方法であり、反応槽でバルキング(活性汚泥の膨化)を起こす糸状性細菌の発生を抑える効果があることから、導入が進んだと考えられる。

寝屋川水域の下水処理場の窒素とリンの除去傾向をみると、窒素については平成 14~24 年度の間は府の方が市よりも除去率が高い状態が続いた(図 17)が、リン

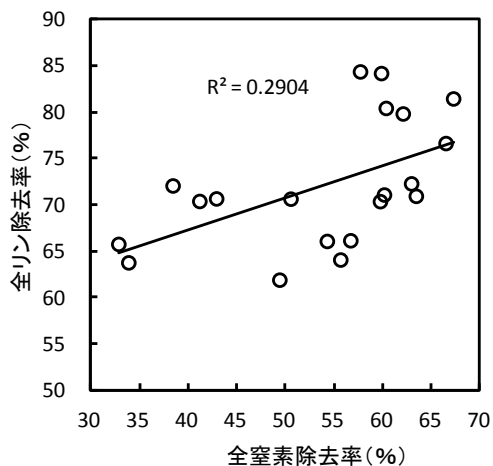


図 21 府下水処理場の全窒素と全リンの除去率の関係  
プロットは各年度の除去率を示す(除去率:  $(\sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{府}} - \sum_{\text{年度}} \text{放流負荷}_{\text{府}}) / \sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{府}}$ )

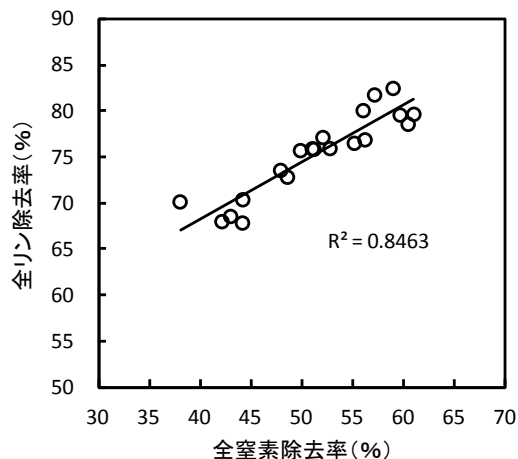


図 23 府・市下水処理場の全窒素と全リンの除去率の関係  
プロットは各年度の除去率を示す(除去率:  $(\sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{府・市}} - \sum_{\text{年度}} \text{放流負荷}_{\text{府・市}}) / \sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{府・市}}$ )

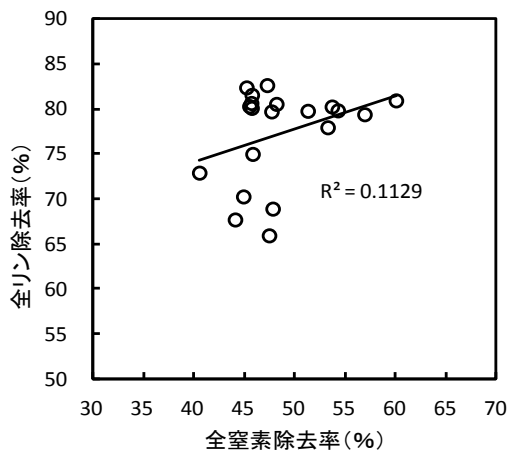


図 22 市下水処理場の全窒素と全リンの除去率の関係  
プロットは各年度の除去率を示す(除去率:  $(\sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{市}} - \sum_{\text{年度}} \text{放流負荷}_{\text{市}}) / \sum_{\text{年度}} \text{流入負荷}_{\text{市}}$ )

については平成 11~20 年度の間は市の方が府よりも除去率が高い状態が続いた(図 20)。近年では、府と市も窒素とリンについてはほぼ同じ除去率である。これが図 23 において府市の下水処理場の窒素とリン除去率に

相関がみられた原因であると考えられる。

最後に、上記のような事象から大都市における下水処理場の水質管理について考察する。一般的な活性汚泥による生物学的処理では、窒素除去とリン除去は相反する関係にある。つまり、窒素除去においてアンモニア態窒素を完全に硝化させるためには好気槽 HRT が長くなるので、余剰汚泥量の減少につながりリン除去量も少なくなる。反対に嫌気槽でリンを十分放出させ有機物を摂取させ過ぎると、無酸素槽での有機物量が不足し脱窒に悪影響を与える[14]。この相反する窒素とリンの除去を同時に行なおうとすると、運転管理は煩雑になり、かつ施設更新や運転管理に追加コストを伴う。しかしながら、今後更に閉鎖性水域への窒素・リン負荷量を抑制するには下水処理場における窒素・リン処理を高度化する必要がある。そこで一ヶ所の下水処理場で窒素とリンの同時除去を目指すのではなく、同じ流域にある複数の下水処理場が窒素やリン除去に特化した運転管理をして、流域全体として双方の除去を達成する方が効率がよいと考える。そうすれば、窒素やリンを

表 5 寝屋川水域下水処理場処理方式の変遷

下水処理場		平成(年度)																			
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
流域 大阪 府 水道	イ	標準法※平成10年度まで淀川に放流										標準法+A <sub>2</sub> O法									
	ロ-1	ステップエアレーション法																			
	ロ-2	—										AO法									
	ハ	—										A <sub>2</sub> O法									
	ニ	ステップエアレーション法																			
	ホ	—										生物学的脱リン+ステップ流入2段階硝化脱窒法									
公共 大阪 市 水道	へ-1	標準法(擬似AO法)																			
	へ-2	標準法																			
	ト	標準法(擬似AO法)※平成6年度は一部擬似AO法																			
	チ	標準法										AO法									
	リ-1	標準法(擬似AO法)※平成6年度は一部擬似AO法																			
	リ-2	標準法(擬似AO法)※平成6年度は一部擬似AO法																			



同時に除去するといった煩雑な運転管理から解放され、閉鎖性水域への窒素とリンの負荷量削減も容易になろう。また、貧栄養化の問題に備えて閉鎖性水域に面する下水処理場で一部実施されているような栄養塩を意図的に多く排出する運転にも対応しやすいのではないかと考える。

現在、下水道の分野では、いかに効率的に現状の下水処理システムを維持するかに注目が集まっている。それはハード面だけではなく、維持管理や運転管理といったソフト面でも求められている。こういった自治体間が連携する運転管理手法があってもよいのではないだろうか。

#### IV まとめ

大阪市内河川と寝屋川水域の下水処理場における汚濁物質負荷量解析の結果、以下の知見を得た。

- 1) 大阪市内河川の汚濁物質負荷量は減少傾向にあった。その要因として下水処理場放流水の負荷量減少が考えられた。
- 2) 府の下水処理場に比べて市の下水処理場の COD と BOD の除去率の相関係数が低いのは市の下水処理場からの N-BOD が関係していると推測された。
- 3) 全リン負荷量は、寝屋川水域河川では半減したが、淀川の導水河川である大川では微減であった。この原因として琵琶湖・淀川流域の下水処理場において窒素処理がリン処理よりも先行して導入されたと推測された。
- 4) 府と市の下水処理水が流入する寝屋川水域において、窒素・リンの同時除去が達成されていた時期があった。府の下水処理場では窒素除去率が高かった時期に、市の下水処理場ではリン除去率が高かったことによると考えられた。
- 5) 同じ流域にある複数の下水処理場が窒素やリン除去に特化した運転管理をし、流域全体として窒素とリンの除去を達成する手法は検討に値すると考えられた。

**謝辞** 本稿は過去 20 年間にわたる大阪市内河川水質データを用いたものであり、測定に携わった当研究所の諸先輩方のご尽力に敬意を表すとともに、下水処理場の水質データをご提供頂いた大阪府都市整備部および大阪市建設局の関係各位に謝意を表す。また、当

研究所の山本耕司博士および新矢将尚博士には有益なご助言を頂いたことに感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 大阪府 環境農林水産部 環境管理室環境保全課 環境計画グループ, 水質総量削減制度について, <http://www.pref.osaka.lg.jp/kankyohozen/osakawan/souryoukisei.html> (2015/7/9).
- 2) 大阪府. 大阪湾流域別下水道整備総合計画 計画書; 2010.
- 3) 山本民次. 貧栄養化にともなう生態系の変化と今後の施策に対する提言. 環境技術 2015; 44(3): 141-146.
- 4) 原田和弘. 播磨灘の栄養塩環境のノリ養殖. 日本海洋学会秋季大会シンポジウム ノリ色落ちと内湾域の栄養塩動態 講演要旨集 2008: 6-7.
- 5) 城戸知昭, 古賀みな子, 星 良和. 放流水のノリ養殖に与える影響調査(その1). 第 43 回下水道研究発表会講演集 2006: 482-484.
- 6) 原田和弘. 海域の貧栄養化によるノリ養殖への影響と対応策. 第 5 回瀬戸内海水産フォーラム「瀬戸内海の環境変化と水産業」要旨集 2013: 3-4.
- 7) 矢持 進. 変化する大阪湾の水環境—港湾海域と沖合域との環境ギャップの拡大—. 環境技術 2015; 44(3): 154-160.
- 8) 新矢将尚. 淀川下流域における水生生物保全にかかる水質および底質の総合評価. 平成 21 年度財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構「水質保全研究助成」報告書 2010: 6.
- 9) 西田修三, 前田瑛美, 吉田淳貴, 長澤稔郎. 淀川流域圏の水質の変遷と下水道システムの影響解析. 水工学論文集 2010; 54: 1339-1344.
- 10) 萩原耕一. B.O.D.試験法解説. 改訂版. 續文堂出版; 1977. 161.
- 11) 南 慎二郎. 下水道普及完了都市における下水道財政の検討—大阪市と東京都(区部)を事例に—. 政策科学 2005; 12(2): 79-89.
- 12) 大阪市建設局. 大阪市流域関連公共下水道 調書及び付属資料: 調書 3-2; 2008. 1-5.
- 13) 大阪市建設局下水道河川部. 平成 18 年度 下水処理場 水質管理年報; 2008. 134-135.
- 14) 村田恒雄 編. 下水の高度処理技術. 理工図書; 1992. 227-228.