

[資料]

## 不老川における下水処理水還流事業による 水質変化と水圏生物相への影響

長田泰宣\* 鈴木章\* 伊田健司\* 斎藤茂雄\* 高橋基之\* 田中仁志\* 金主鉉\* 山川徹郎\*\*

### 1 はじめに

不老川は東京都瑞穂町に源を発し、本県の入間市、所沢市、狭山市を経て、川越市で新河岸川に合流する流域面積56.55km<sup>2</sup>、流路延長16.95kmの一級河川である。自流量が乏しく、その水量のほとんどを流域からの用水や排水に依存するため、昭和59年度(1984年度)には年平均BOD値が最下流の不老橋において130mg/lを記録し、全国のワースト1になるなど特に汚濁が激しい都市河川の一つとされていた。

その後、流域の下水道整備が進むにつれてBODは徐々に低下し、現在では下水道普及率が約80%に上昇し、おおむね10~20mg/lに低下している。しかし、下水道の普及によって水源の大半を失うことになり、魚類をはじめとする水圏生物相の新たな形成に少なからぬ影響が出るのが予想されていた。したがって、水量確保のために何らかの対策が求められ、埼玉県では下水処理水を充当する方法を執った。

この事業の計画段階では不老川の自浄能力とそれに伴う生物相の変化が生じることが期待できたため、水質変化と水

辺生態系の変遷あるいは環境修復に関する基礎データを得るには適当なフィールドと考えられた。そのため、当所の前身埼玉県公害センターにおいてモニタリングを開始し、当所開設に当たってそれを引き継いだ。

しかし、実際のモニタリングは実施主体部署が行う放流スケジュールに合わせざるを得ず、また放流点より下流部において河岸等の改修工事が度々行われ、その都度放流中断があったため長期連続放流が実施されなかったことなどの問題が生じた。

本研究は上記のような背景および現場の状況の中、下水処理水の還流が放流先河川の水質改善に及ぼす影響および水生生物相の変化について調査・解析を行ったものである。なお、本稿では、主として三次処理水導入の効果を見ることとし、2000年度と2001年度のデータを中心に検討した。

### 2 還流ルート及び還流量

還流事業では不老川と新河岸川の合流点付近にある荒



図1 不老川流路及び下水処理水還流ルート

\* 埼玉県環境科学国際センター 〒347-0115 埼玉県北埼玉郡騎西町上種足914  
 \*\* 埼玉県西部環境管理事務所 〒350-1121 埼玉県川越市新宿町1-1-1

川右岸流域下水道終末処理場から川越市滝ノ下終末処理場の下水処理水(計画BOD:10mg/l)をΦ700mmの送水管で、高低差+70mの上流部に12.5km圧送した(図1)。

一次計画では、平成10年(1998年)5月から二次処理水を直接送水し、計画送水量は0.45m<sup>3</sup>/sec(39,000m<sup>3</sup>/day)であり、管内滞留時間約6時間であった。二次計画では、平成13年(2001年)4月から三次処理水(砂ろ過+オゾン処理を施し、計画BOD:5mg/l)を送水し、計画処理量は同じく0.45m<sup>3</sup>/sec(39,000m<sup>3</sup>/day)であった。ただし、実際には、二次処理水は下流における河岸改修工事などの影響で夕方から朝までの夜間15時間程度の放流で、送水量は1,700m<sup>3</sup>/dayであり、まったく放流しない中断期間も少なからずあった。また、三次処理水放流が始まった後では実測値では計画水量に達しているが、下流における工事による放流中断が多い状況は現在まであまり変わっていない。

### 3 調査方法

採水や流量測定をはじめモニタリングに必要な作業は原則として月1回行うこととし、放流の無い場合には中止した。実際上、放流点下流部での河川改修工事が度々行われたため、放流中断が多かった。

採水地点を図2に示すが、当初(平成10年)は放流点前(吐出口より800m上流。支流の林川合流後)と放流点後(吐出口より50m下流)の2ヶ所と吐出口から約1km下流の入曽橋とした(埼玉県公害センター河川水質科担当)。なお、吐出口の約10m上流には流水の一部を取り入れる水路があり、

分流された河川水は礫間接触酸化施設(計画処理水量:14,400m<sup>3</sup>/day)によって浄化され不老川に戻されている。放流点後50m地点はこの浄化水流出点の直前であったが、下水処理水による汚泥の巻き上げが大きいと判断し、のちに600m下流部に移動した。その後、当センターの開設(2000年4月)に伴い水環境担当の研究課題の一つとして継続測定を行い、測定点に新たに上流部の支流(林川)合流前1ヶ所を追加し、放流点後の採水地点に近い入曽橋を削除した。

現場において、流量算出のための流速と水深の他、pH、DO、水温、透視度、残留塩素を測定し、SS、EC、COD、BOD、C-BOD(硝化抑制BOD)、溶解性BOD、溶解性C-BOD、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-P、Cl<sup>-</sup>はサンプルを実験室に持ち帰って測定した。なお、C-BOD測定のための硝化細菌抑制にはN-(2-プロペニル)チオ尿素を用いた。また、NH<sub>4</sub>-Nの測定はインドフェノール青吸光度法を、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P、Cl<sup>-</sup>はイオンクロマトグラフ法を用いた。

底生動物については、環境庁(現・環境省)の水生物調査マニュアル<sup>1)</sup>に従ってASPT値を算出し評価した。

### 4 結果及び考察

#### 4.1 水量

不老川はかつては冬の渇水期には水が枯渇したと言われ、元々自流量の少ない川であった。従って、現在の水量のほとんどは都市排水と雨水である。このうち、都市排水は流域の下水道整備状況によって徐々に減少するが、一地域が下水道に接続され、次の地域が接続されるまでの期間

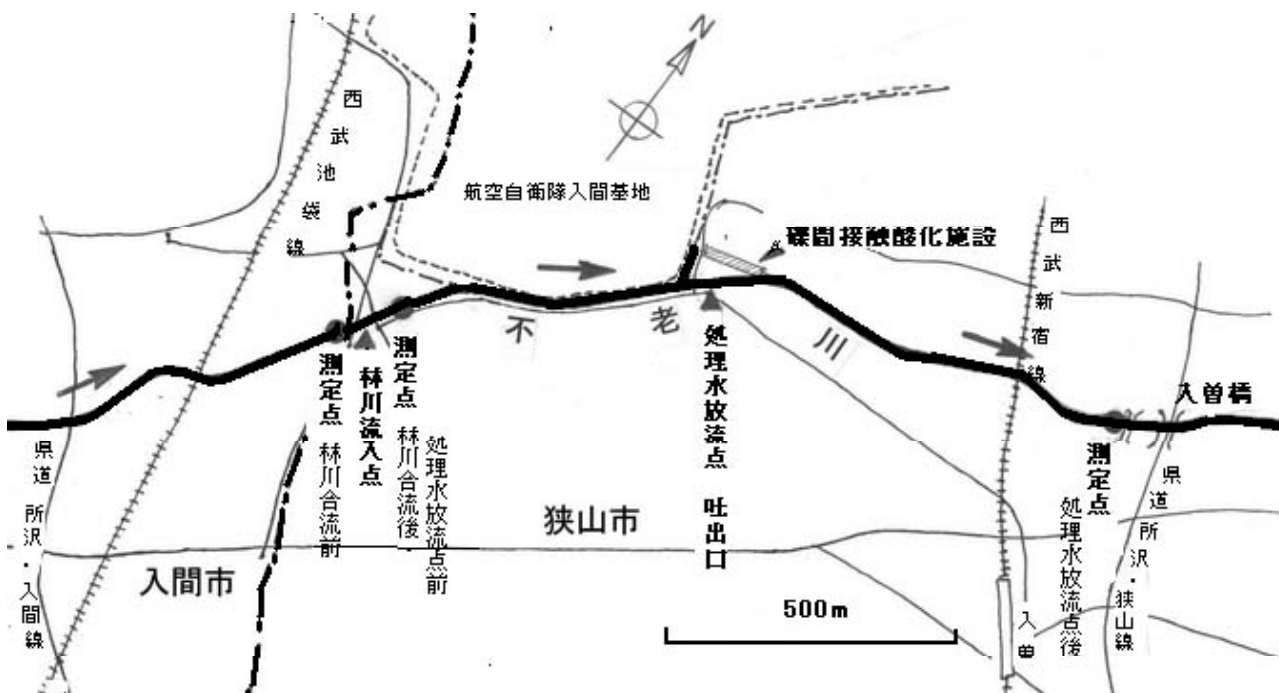


図2 測定点(2000~2001年度)

は流域住民の水使用量によって多少の季節変動はあるものの、ほぼ一定量に近い排水量があり、流下水量の増減は流域の降水量に大きく依存すると考えられた。

実際、処理水還流時のみのデータでも、1999年度の吐出口前の実測値(自流量)で渇水時 $0.13\text{m}^3/\text{sec}$ (1月20日。以下1/20)、豊水時 $1.6\text{m}^3/\text{sec}$ (7/16)、2001年度も渇水時 $0.10\text{m}^3/\text{sec}$ (7/23)、豊水時 $1.5\text{m}^3/\text{sec}$ (9/19)と共に10倍以上の開きがあった。この時、吐出口後(還流水を加えた流量)の測定地点では、1999年度は $0.52\text{m}^3/\text{sec}$ (1/20)と $2.1\text{m}^3/\text{sec}$ (7/16)、2001年度は $0.56\text{m}^3/\text{sec}$ (7/23)と $2.1\text{m}^3/\text{sec}$ (9/19)であり、共に開きは4倍弱に収まっている。したがって、還流によって水量の変動幅はかなり抑えられていると言える。なお、2000年度は少なくとも実測の範囲内では際立った低水位は記録されず、水位比は2倍強の開きであった(図3)。

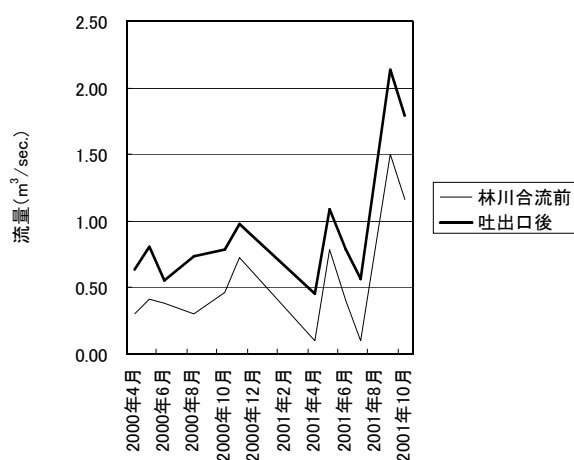


図3 吐出口前後における流量変化(2000～2001年度)

処理水還流事業実施部署では、事業実施に当たって不老川の「河川環境保全上望ましい流量」をフナ、コイ等の止水性魚類が棲息できる条件を整えることを想定し、平均水深が $0.1\sim 0.5\text{m}$ 、平均流速が $0.5\sim 0.1\text{m}/\text{sec}$ を満たす必要があり、また川幅を考慮すると、下限値は下流部( $0.1\sim 0.6\text{km}$ )で $0.48\text{m}^3/\text{sec}$ 、上流部( $0.6\sim 18\text{km}$ )で $0.3\text{m}^3/\text{sec}$ と試算した。

これを実測値から評価すると、流速は流心で $1.0\text{m}/\text{sec}$ を超えることが多く、平均流速も $0.5\text{m}/\text{sec}$ 以下になることは少なく、流量の目標はおおむね達成されている。もちろん、魚類はこのような物理的条件だけで棲息できるわけではなく、後述の水質の比重も同等に高いことは言うまでもない。不老川の水質の現状では、流速を緩和させるとDO低下を招く可能性もあり、現在の流速はフナ、コイの棲息に適しているとはいえないが、DO保持の点からはむしろ望ましいと考えられる。

## 4.2 pH

不老川はE類型であり、pHの環境基準は $6.0\sim 8.5$ となる。また、建設省(現・国土交通省)による下水処理水の修景・親

水利用目標水質は $5.8\sim 8.6$ とされている。なお、コイ、フナをはじめとして淡水魚類対象の水産用水基準<sup>2)</sup>は河川・湖沼で $6.7\sim 7.5$ である。この基準は魚類の自然繁殖、成育に適した水質を示すものであり、これを超えれば全く棲息できないというわけではなく、大きく超えない限りその川が属する水系の繁殖可能域から一時的に移動してくることもありうる。

また、pHは当然水量の影響を受けるので、汚濁が進んだ河川では低水位時が問題となる。実際に2001年7月23日の渇水時には吐出口前の測定点でpH10を記録した。この時、吐出口後では下水処理水還流が行われていたため、その希釈効果によりpH7.4に収まっている。したがって、pHに関する水質管理には本事業は有効に機能していると言えよう。なお、通常の水位の時には吐出口上流も下流もpH7.0～8.0に収まっている。

## 4.3 DO

不老川におけるDOの環境基準値は $2\text{mg}/\text{l}$ であるが、比較的低酸素状態に強いコイなどでも健全臨界値は $2\sim 3\text{mg}/\text{l}$ とされており、この値では魚類の棲息は難しい。なお、水産用水基準は河川及び湖沼で $6\text{mg}/\text{l}$ 以上となっている。

1998年の還流事業開始当初は、吐出口後50m地点で採水・測定を行っていた。吐出口からこの測定点までの河床は砂泥質もしくはヘドロ状で、測定点より下流は比較的大きな礫質となる。また、吐出口前で本流から一旦分流され礫間接触酸化施設を通過した浄化水が測定点直後に本流に戻されている。

この測定点における低DOは、1999年1月20日の低水位時に $2.7\text{mg}/\text{l}$ を記録したことがある。ただし、通常は吐出口上流(林川合流前)で $9\sim 11\text{mg}/\text{l}$ で飽和に近く、林川の合流によって $7\sim 10\text{mg}/\text{l}$ に低下した後には下水処理水が混合し、現在の測定点である600m下流では $7\sim 8\text{mg}/\text{l}$ 前後で推移する。

不老川全流呈の中には、低DOを生じるような汚濁負荷の高い排水が流入する箇所がいくつかあるが、流心で $1\text{m}/\text{sec}$ を度々超える速い流速と礫の多い河床構造の相乗作用でDOが保持され、総体として見ればDOは十分にあると言えよう。なお、現状の水質では流速を緩くすると沈殿した有機物を繰り返し取り除かなければDOの低下、 $\text{H}_2\text{S}$ や $\text{CH}_4$ などの発生を招く恐れがあり、水が滞留するような所を創出する河道改修は水質悪化をもたらす可能性があると考えられる。

## 4.4 各態BOD

### 4.4.1 BOD

最下流部の不老橋におけるBOD値については前述したが、中流域の入曽橋では、昭和50年代後期から60年代前期にかけて75%値が $80\sim 100\text{mg}/\text{l}$ で推移し、昭和62年(1987年)には $120\text{mg}/\text{l}$ を記録した。現在では平均 $10\text{mg}/\text{l}$ 前後まで改善されている(付図に実測値の変化を示す)。なお、前述したように、不老川はE類型であり、BODの環境基準値は日

間平均10mg/l以下である。また、建設省(現・国土交通省)高度処理会議による下水処理水の修景・親水用水利用の目標水質はそれぞれ10mg/l以下、3mg/l以下としている。水産用水基準ではコイ・フナを対象とした場合、河川における自然繁殖には3mg/l以下、成育には5mg/l以下であることが必要とされている。

実測の範囲内で、BOD値の推移を二次処理水が還流されていた2000年度と三次処理水の還流が始まった2001年度を比較した。

林川(吐出口の800m上流)合流前と合流後、及び吐出口下流500mの3地点における2000年度(実測6回)平均値はそれぞれ4.6、11.0、8.7mg/lであった。また、2001年度(実測6回)のそれらは7.0、12.0、9.5mg/lであった。いずれの年度も林川合流前と合流後の差が大きい。林川の流量は平時で本流の10%未満であり、負荷は著しく高いことが分かる。また、吐出口下流では下水処理水の還流によって水量が平時で2倍近くに増えているにもかかわらず20%程度しか下がらず、林川合流前の値までも回復していない。つまり、平均BOD濃度だけをみれば計算上、下水処理水は林川合流前の本流水と同程度ということになる。

これを実測の平均負荷量で見直すと、2000年度はそれぞれ167、355、546kg/dayで、2001年度は337、523、853kg/dayとなった。したがって、2001年度は林川合流前の測定点より上流からの負荷も高く、前年度のほぼ2倍になっている。また、林川の負荷量は2000年度は188kg/day、2001年度は146kg/day前後、下水処理水からの負荷量は2000年度は191kg/day、2001年度は330kg/dayということになり、下水処理水は水量が多くなったため、三次処理開始後の方がやや高い。

#### 4.4.2 C-BOD

BODは基本的には有機汚濁指標であるが、測定法上硝化細菌による酸素消費(後述)も含まれることがある。下水処理水が含まれる場合はこの傾向が強いことが知られている。そこで、有機汚濁の状況をより正確に把握するためには、硝化抑制処理をしたBODの測定(C-BOD)が必要となる。

2000年度における3測定点での実測6回のC-BOD平均値は上流から4.1、10.0、5.8mg/lであり、2001年度(測定点、実測回数同じ)4.8、9.8、5.0mg/lであって、各測定点とも年度による変動がBODより少ない(図4)。また、これを負荷量で見ると、2000年度は145、318、358kg/dayとなり、2001年度は234、373、442kg/dayとなる(図5)。したがって、2000年度は測定点より上流からの負荷量が145kg/dayであったが、林川からの負荷量も173kg/dayで上流からよりも高く、下水処理水を含む吐出口下流500mの間での負荷量が40kg/dayであった。また、2001年度はそれぞれ234、139、69kg/dayであり、上流からの負荷の方が林川からの負荷よりも高かったが、林川自体も高かったことに変わりない(図6)。

なお、3測定点におけるC-BODとBODの負荷量の比から、炭素系有機物による汚濁状況を見ると、上流から2000年

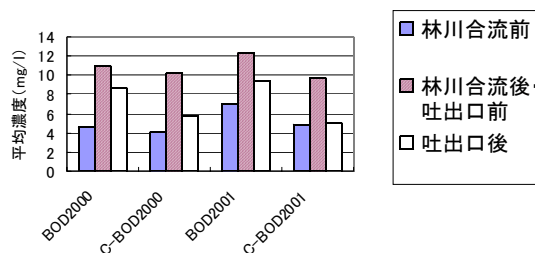


図4 各測定点におけるBOD及びC-BOD平均濃度(2000~2001年度)

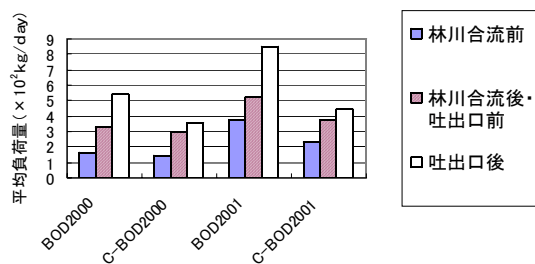


図5 各測定点におけるBOD及びC-BOD平均負荷量(2000~2001年度)

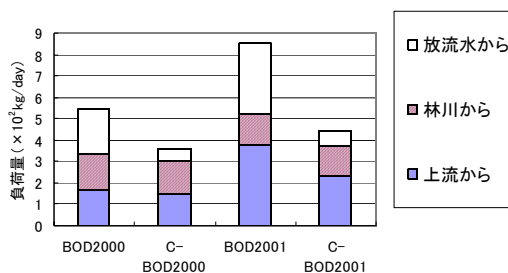


図6 上流・林川・放流水それぞれのBOD及びC-BOD平均負荷量(寄与量)(2000~2001年度)

度は0.87、0.89、0.66となり、2001年度は0.62、0.71、0.52となった。また、林川合流、下水処理水放流によるそれぞれの負荷量増加分と同様にC-BOD/BODを見てみると、2000年度は林川分が0.92、下水処理水分が0.20であり、2001年度はそれぞれ0.95、0.21であったので、林川はほとんどが炭素系有機物によるBODで、下水処理水還流後の本流は逆に炭素系有機物によるBODは20%程度であることが分かる。

以上の結果から、林川は毎年度の炭素系有機物供給量はほぼ一定であり、下水処理水の示すBOD値はおよそ80%が炭素系有機汚濁物質以外の物質によるDO消費、すなわち硝化細菌によるDO消費であることが示唆される。

#### 4.4.3 溶解性BOD、溶解性C-BOD

孔径1μmのガラス繊維ろ紙で懸濁物質(SS)分を除いた試料で、溶解性物質によるBOD及びC-BODを測定した。

測定点3点における溶解性BODの年平均濃度は、上流か

ら2000年度は2.9、5.6、4.1mg/lで、2001年度は6.4、10.0、8.0mg/lであった。同様に、溶解性C-BODは2000年度は2.8、5.3、3.7mg/lで、2001年度は4.7、7.4、4.1mg/lであった。

各測定点における溶解性BOD濃度とBOD濃度の比を年度毎に求めると、2000年度は0.63、0.51、0.46であり、2001年度は0.91、0.86、0.84となった。したがって、上流部から徐々に溶解性物質によるBODは減少し、懸濁物質によるBODの比率が上昇する。また、2000年度の結果からは、懸濁物質を除去すればBODは計算上40～50%削減できることになるが、2001年度の結果ではわずか10～15%程度しか削減できず、年度によって変わる。これはおそらく、降雨等の自然条件あるいは人為的な排水の流入などの影響を受けて懸濁物質や溶解性物質の質が変わるためと考えられる。

また、溶解性C-BODと溶解性BODの比は、上流側から2000年度は0.96、0.94、0.91であり、2001年度は0.73、0.69、0.51であった。すなわち、2000年度は溶解性物質の中の溶解性炭素系有機物質の割合が高く90%以上を示したが、2001年度は50～70%程度に低下しており、ここにも溶解性物質の年度毎の質的差異が現れている。

## 4.5 各態窒素

### 4.5.1 全窒素(T-N)

全窒素は河川の環境基準のうち、水産3種のコイ、フナ等の水産生物用の範疇で1mg/l以下(全りんは0.1mg/l以下)とされており、水産用水基準ではそれに基づいて湖沼(河川については情報不足のため基準値を設定しないとある)を対象にコイ、フナには1.0mg/l以下を設定している。

不老川においては、下水処理水放流後はもとより3測定点の最上流側(林川合流前)でもすでにかなり高く、10mg/lを超えることが多い上に、低い時でも5mg/l前後に達する。したがって、後で述べるアンモニア性窒素濃度を持ち出すまでもなく魚類の棲息には適していない。

実測値の年平均値は、測定点3点の上流側から2000年度は10、11、12mg/lで、2001年度は9.7、10、12mg/lとなり、二次処理水還流時も三次処理水還流時も変化が無かった。また、負荷量で見ると2000年度は406、461、794kg/dayで、2001年度は645、692、1,205kg/dayであった。したがって、全窒素における林川からの負荷は2000年度は55kg/day、2001年度は47kg/dayであり、水量の割には負荷は大きい。また、下水処理水からの負荷はかなり大きく、上流から流下してくる量とほぼ同量が本流に供給されている(図7)。

### 4.5.2 アンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)

アンモニア、特に非解離アンモニアは魚類に対して有毒であるとされ、その毒性はpHが高いほど、また水温が高いほど強くなり、DOが少ない環境水中で増強されることが知られている<sup>3)</sup>。参考までに魚類を安全に養成できる濃度をウナギで見ると、アンモニア性窒素10mg/l以下、非解離アンモニア0.035mg/l以下、亜硝酸性窒素10mg/l以下とされる。なお、

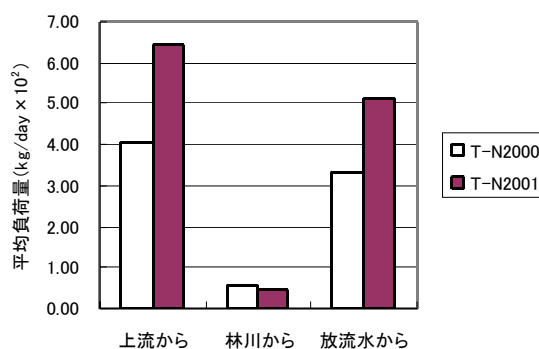


図7 上流・林川・放流水それぞれの全窒素寄与量 (2000～2001年度)

アンモニア性窒素総量中の非解離アンモニアの割合はpHと水温から求められ、例えば水温20℃では、pH6で0.04%、pH7で0.4%、pH8で3.8%となる。

また、アンモニア性窒素は好氣的条件下で亜硝酸細菌群、特に*Nitrosomonas*によって亜硝酸化され、生成された亜硝酸性窒素は硝酸細菌群、特に*Nitrobacter*によって硝酸化される。その過程においてアンモニア性窒素1gを硝酸性窒素化するまでに4.57gのO<sub>2</sub>を消費するため、アンモニア性窒素や亜硝酸性窒素の存在によってDOの低下を招き、ひいてはBODの上昇をもたらす可能性がある。

不老川の3測定点における濃度は、上流側から2000年度平均(実測データ6回分)で0.85、1.69、5.57mg/lであり、2001年度平均(同5回)で1.59、2.40、4.37mg/lであったが、範囲は2000年度が0.22～1.52、0.56～2.37、2.33～10.4mg/lであり、2001年度は0.27～5.32、0.44～7.28、1.90～9.27mg/lであるように変動が大きい。負荷量で見ると、2000年度は33、66、416kg/dayとなり、2001年度は46、67、290kg/dayとなる。

したがって、2000年度は測定点よりも上流からの負荷量が33kg/dayで林川の負荷量がそれと同量の33kg/dayとなり、下水処理水の負荷は350kg/dayと計算される。また、2001年度はそれぞれ46、21、223kg/dayとなり、2000年度と比較すると上流からの負荷が増え、林川、下水処理水からの負荷が減っている。ただし、下水処理水からの負荷が依然として多く、魚類の棲息にとっては障害になる可能性はある。

### 4.5.3 亜硝酸性窒素(NO<sub>2</sub>-N)

亜硝酸性窒素は、硝酸性窒素とともにメトヘモグロビン血症の原因になるとして平成11年(1999年)に水質環境基準健康項目(硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素として基準値10mg/l以下)に追加された。また、硝酸細菌群によって硝酸化される時に酸素を消費するためDOの低下を招く。非解離アンモニアほど毒性が強くないものの、魚類にも血液中にヘモグロビンがあり、亜硝酸と結合して不可逆性メトヘモグロビンを生成し呼吸困難を誘発するとされる。

3測定点の亜硝酸性窒素濃度は、上流側から2000年度平

均(有効データ5回分)で0.35、0.40、0.38mg/lであり、2001年度平均(6回)で0.23、0.25、0.51mg/lであった。なお、アンモニア性窒素に比べると各地点における変動幅は概して小さく、2000年度は0.25~0.45、0.24~0.56、0.30~0.56mg/lであり、2001年度は0.10~0.39、0.12~0.47、0.17~1.32mg/lであった。いずれも低水位の時に高濃度を記録している。これを各測定点における平均負荷量で見ると、2000年度は上流側から11、13、23kg/dayとなり、2001年度はそれぞれ9、11、37kg/dayとなる。したがって、林川からの負荷は2kg/dayで一定であったが、下水処理水からの負荷は2000年度が10kg/dayで、2001年度が26kg/dayとなり、悪化している。

なお、コイ、フナなど水産3級の魚類の棲息にとってこの亜硝酸性窒素の濃度はほとんど問題にならないと思われる。

#### 4.5.4 硝酸性窒素(NO<sub>3</sub>-N)

硝酸性窒素は、亜硝酸性窒素とともにメヘモグロビン血症の原因物質とされるが、亜硝酸性窒素よりも毒性は弱いとされる。嫌気的条件下で*Pseudomonas*をはじめとする脱窒菌によりN<sub>2</sub>OやN<sub>2</sub>に還元され水圏外に放出される。

3測定点の平均濃度は、上流側から2000年度(有効データ5回分)が7.64、8.08、5.56mg/lで、2001年度(同6回)が6.76、6.30、5.75mg/lであった。これを負荷量で見ると、2000年度は242、266、345kg/dayであり、2001年度は531、544、714kg/dayであった。したがって、2000年度は上流からの流下が242kg/dayで、林川から24kg/day、下水処理水から79kg/dayとなり、2001年度は上流から531kg/day、林川から13kg/day、下水処理水から170kg/dayとなり、測定点よりも上流からの流下量が圧倒的に多いことがわかる。また、下水処理水の負荷量が相対的に小さいが、もともと各態窒素の存在比は処理施設の運転状況によって変わるものであり、評価は難しい。特に、BOD上昇を抑制するために硝化細菌の増殖を抑えようとするとアンモニア性窒素や亜硝酸性窒素が相対的に多くなることは避けられず、上記した処理水吐出口後の各態窒素負荷量のデータはこのことを表わしていると考えられる。

なお、各測定点における各態窒素構成比を図8、図9に示した。

#### 4.6 全リン(T-P)およびリン酸リン(PO<sub>4</sub>-P)

全リンは河川的环境基準のうち、水産3種のコイ・フナ等の水産生物用の範疇で0.1mg/l以下とされており、水産用水基準ではそれに基づいて湖沼(河川については情報不足のため基準値を設定しないとある)を対象にコイ、フナには0.1mg/l以下を設定している。これは、リンの魚類に対する直接的な毒性ではなく、湖沼等の閉鎖性水域でのプランクトンの増殖による透明度の低下に伴う酸素欠乏をきたさない上限濃度から設定された。なお、一般に閉鎖性水域における富栄養化の目安は窒素0.2mg/l、リン0.02mg/lとされる。また、リンは海域まで流下後に赤潮などのプランクトン異常発生の原因にもなるため、河川水にリン酸リンはもとより、各態リンが多

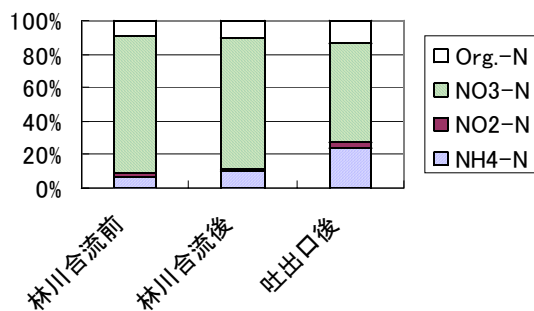


図8 負荷量からみた各測定点における各態窒素構成比(2000年度)

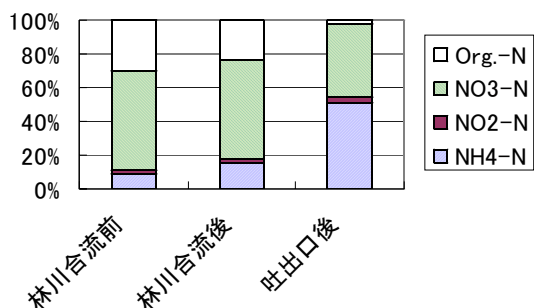


図9 負荷量からみた各測定点における各態窒素構成比(2001年度)

いことは好ましいことではない。しかし、不老川においては、吐出口下流で暖期に緑藻や水生植物が繁茂して懸濁物質が過剰に発生し、透視度は50cm以上を保持するなどプラス効果もみられる。

3測定点における全リンの平均濃度は、上流側から2000年度が0.26、0.48、0.40mg/lで、2001年度が0.36、0.54、0.43mg/lであった。これを平均負荷量で見ると、2000年度が0.09、0.16、0.24×10<sup>3</sup>kg/dayであり、2001年度が0.13、0.19、0.31×10<sup>3</sup>kg/dayであった。各測定点間の差から上流、林川、下水処理水それぞれの負荷量を算出し、図10に示した。

水量が少ない(本流の10%未満)にもかかわらず林川の負荷が極めて高いことが分かる。また、下水処理水からは林川が合流する前までの上流から流下してくる量とほぼ同量が供給されている。したがって、林川の相対的に高い負荷を、下水処理水の還流で希釈しているのが現状である。

また、リン酸リンの平均濃度は2001年度で見るとそれぞれ0.26、0.34、0.32mg/lであり、各態リンの中では相対的に存在比は高い。

#### 4.7 COD

水産用水基準では、湖沼における温水性魚類を対象に

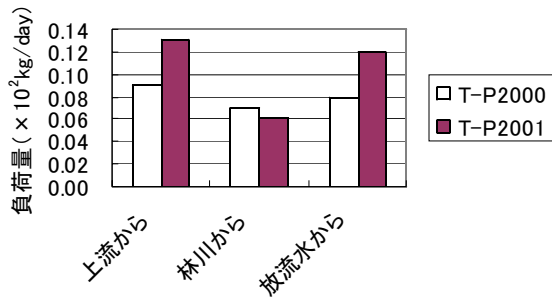


図10 上流・林川・放流水それぞれの全リン寄与量 (2000～2001年度)

自然繁殖の条件として4mg/lを、成育の条件として5mg/l以下を設定している。ただし、河川においては前述のとおり、BODで基準値が設定されている。

3測定点における年平均濃度(各6回)は上流側から2000年度が4.6、8.0、6.5mg/lであり、2001年度が8.1、11、8.0mg/lであった。CODについても林川の負荷が高く、下水処理水の還元によってその寄与が緩和されている。

#### 4.8 懸濁物質(SS)

SSについての水産用水基準には、①懸濁物質は25mg/l以下であること。ただし、人為的に加えられる懸濁物質は5mg/l以下であること、②忌避行動などの反応を起こさせる原因とならないこと、③日光の透過を妨げ、水生植物の繁殖、生長に影響を及ぼさないこととある。

測定点の中では林川合流直後で低水位だった2001年4月26日に18.8mg/lを記録したことがある。しかし、もともと暖期には付着藻類が剥離して流下することもあり、懸濁物質が増えても人為的に加えられたものとの分離は不可能で、数値だけで評価することは難しい。ちなみに、3測定点における年度毎の平均濃度は2000年度は4.3、7.5、4.6mg/lであり、2001年度は7.7、8.9、6.0mg/lであった。林川の負荷が大きく下水処理水の還元でその寄与を緩和している。

なお、下水処理水は前述のように窒素、リンの濃度が高いため緑藻、水生植物の繁茂をもたらし、主としてろ過効果により吐出口下流では懸濁物質の減少、透明度の上昇をもたらしている。また、処理水還流を中断すると、吐出口下流の測定点まで林川から流入したスフェロティルス的大量流下が観察されるが、還流時にはそれが見られないところから、懸濁物質減少には本事業は効果を上げているとみてよい。

#### 4.9 大型底生動物

大型底生動物の調査は、当センター開設前の1998年8月と1999年1月の二次処理水還流時に埼玉県公害センター河川水質科が当時水質を測定していた3ヶ所で行っていたが、放流中断が多かったため、当センター開設後の2000年度は

目視のみを行った。また、三次処理水還流が始まってからも中断が度々あり、顕著な変化は期待できなかったが、2001年11月に2000年度以降の測定点3ヶ所(林川合流前、林川合流後・吐出口前、吐出口後)で行った。

1998年度～1999年度は、いずれの測定点でもDOは十分にあっただにもかかわらず、出現種はPsychodidae(チョウバエ科)、Chironomidae(ユスリカ科腹鰓有・腹鰓無)、Physidae(サカマキガイ科)、Oligochaeta(ミミズ綱)、Hirudinae(ヒル綱)、Asellidae(ミズムシ科)など汚濁に強いものばかりであり、その他は暖期にBaetidae(コカゲロウ科)が出現し、夏期に個体数がかかなり増した程度であった。ASPT値は1998年8月の夏期には2.0(林川合流後・吐出口前)～2.3(吐出口下流約1km・入曽橋)であったが、1999年1月の冬期にはコカゲロウが欠けた分ASPT値は下がり、1.3(林川合流後・吐出口前)～1.7(吐出口後約1km・入曽橋)にまで下降した。

2001年11月の調査でも出現種はほとんど同じであったが、上記コカゲロウ科の他にHydropsychidae(シマトビケラ科)の*Cheumatopsyche* sp.(コガタシマトビケラ)がいずれの測定点でも確認された。このため、ASPT値は3測定点とも2.7に上昇した。

本種は、シマトビケラ科の中にあつては比較的汚濁に耐えるるとされ、不老川においては初記録ではないものの、これまでに1測定点で複数個体を確認したことはない。これは、総体としては不老川の水質が改善傾向にあることに関係があらう。また、吐出口下流で個体数に有意な増加がみられたのは下水処理水還流によって緑藻や水生植物が繁茂したことによるものと考えられる。

しかし、これ以外には動物相に大きな変化なく、二次処理水還流時も三次処理水還流時も3測定点間の差は僅少であり、出現種に処理水還元の効果はほとんど見られなかった。

一般に、汚濁河川に何らかの対策がとられて水質が改善されたとしても、その水質に適応した生物が棲みつくには月単位、時には年単位の時間が必要であると考えられる。しかし、一旦それらの生物が定着してきたとしても、死滅させるには時間単位で足りる。つまり、仮に浄化に十分な水質の水を供給しても、それを一旦中断すれば浄化用水を供給する以前にも棲息できた生物しか生存は難しい。いずれにせよ、川の水質は刻々と変化するとしても、棲息できる生物はその水質レベルの中で最も悪いレベルに耐性のある種に限られるであろうから、下水処理水還流が度々中断された本事業では大型底生動物に事業の効果がほとんど現れなかったのはやむを得ない。

なお、従来コガタシマトビケラとされてきた種には少なくとも3種(未記載種1種を含む)が混在しているとされ、河川上流部から棲み分けられているようである<sup>4)</sup>。不老川で採集されたのはその中で最も下流部に棲息するとされる*C. brevilineata*と考えられるが、十分な比較試料が無いので詳細な検討は今後の課題としたい。

## 5 まとめ

大規模な下水処理水還流事業が水質変化とそれによる生物相の変遷に及ぼす影響について、事業開始前から二次処理水放流時、そしてその後の三次処理水放流と継続して調査を行った。その結果、窒素化合物の形態と濃度に変化がみられたものの、水生生物相の変化は認められなかった。

水生生物相の変化を生じなかった第一の理由は、度々放流が中断されたことと、不老川の本調査区間では既に最も汚濁に強い生物相が長期にわたって形成され、安定していたためと考えられる。

また、第二の理由は下水処理に脱窒・脱リンプロセスが無かったことであろう。下水処理水に窒素・リンが多いのはやむを得ないとしても、全窒素、全リンの量は本処理水が他の処理場処理水に比較して特に高いというわけではない。問題なのは、河川に放流する対象としてはアンモニア性窒素の割合が高すぎるのではないかとと思われる。一例を挙げれば、平成7年(1995年)から東京都の中野処理場で行っている同様の事業では、全窒素は当該事業とほとんど変わらないものの、アンモニア性窒素はほとんど無く、硝酸性窒素が主体であったとされ、放流の結果、生物相に大きな変化を生じたと報告されている<sup>5)</sup>。当該事業でも、仮に大部分を硝酸性窒素に変えてから放流していれば生物相に多少は特筆すべき変化を生じたかもしれない。

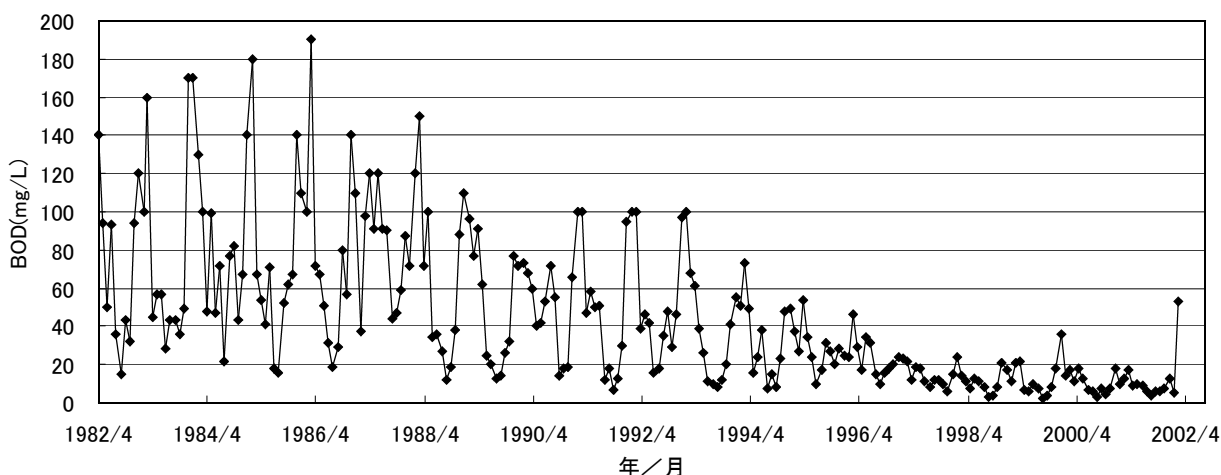
第三の理由として挙げられるのは、吐出口前で流入する林川の汚濁負荷が大きく、効果が相殺されてしまっていることであろう。特に、炭素質有機汚濁物質やリンの量が安定し

て多く、処理水による希釈効果が得られていない。ただし、見方を変えれば処理水放流は林川の影響の軽減には効果を上げているということになる。現在、林川には浄化施設を建設中であり、これが完成すると林川からの各種汚濁物質負荷は減少するので、上述の処理水中の窒素分の問題がより顕著に表れる可能性がある。したがって、脱窒・脱リンが理想であることは言うまでもないが、最低限アンモニア性窒素を硝酸性窒素化して放流する工程を組み込むことが望ましいと考えられる。

なお、当該事業の目標の一つに魚類の棲息がある。調査中にコイ、モツゴを目撃したことはあるが、これらは迷入によるものと考えられ、魚類の定着にはクリアすべき問題も多い。特に流速は炭素質有機物質やアンモニア性窒素が多い現状では、水が滞留するような所を創出するとDO低下を生じる可能性があり、当面は現在の流速を維持した方が良いと考えられる。

## 文 献

- 1) 環境庁水質保全局(1992)大型底生動物による河川水域環境評価のための調査マニュアル。
- 2) 日本水産資源保護協会(2000)水産用水基準(2000年版)。
- 3) 日本水産学会(1980)淡水養魚と用水, 恒星社厚生閣(東京)。
- 4) 牧林功(2002)トビケラ目の新しい分類による埼玉県産種の配列変更と若干の追加補遺について, 寄せ蛾記, 106, 22-30。
- 5) 曾根啓一, 井村直樹, 花田いち子(1997)中野処理場の放流にともなう妙正寺川生態系への影響について, 平成9年度東京都下水道局技術調査年報, 399-412



付図 不老川入曾橋におけるBODの経年変化