

東京都環境科学研究所

No.21

ニュース

多摩川中流部の再生に向けて

1 はじめに

多摩川は都内河川のなかでは最も多様な水環境を有し、水道用水、水産用水、農業用水などの利水の点からも大きな役割を持っている河川です。多摩川中流部とは、図1に示す拝島橋から田園調布堰までをいいます。この田園調布堰では、多摩川の水質汚濁の進行とカシンベック病の原因の疑いということで1970年9月に水道用水としての取水は停止されました。その後、発生源規制、下水道の普及、生活排水対策などにより多摩川中流部の水質はしだい改善されています。しかし、田園調布堰の水道用水の取水は現在も再開されていません。平成10年3月に策定された東京都水環境保全計画では、多摩川中流部の環境基準C類型(BOD*1 5 mg/l以下)を早期に達成し、より上位のB類型(BOD 3 mg/l以下)を目指としています。このB類型の利用目的の適応性としては、水道3級(前処理を伴う高度の浄水操作を行うもの)、水産2級(サケ科魚類及びアユ等のきれいな水域の水産生物用)などが掲げられています。

どのような対策をすすめれば多摩川中流部の水質をさらに改善できるか。このことを明らかにするため、東京都環境科学研究所では多摩川中流部の調査研究を行っています。

*1 BOD (4ページ図4参照)

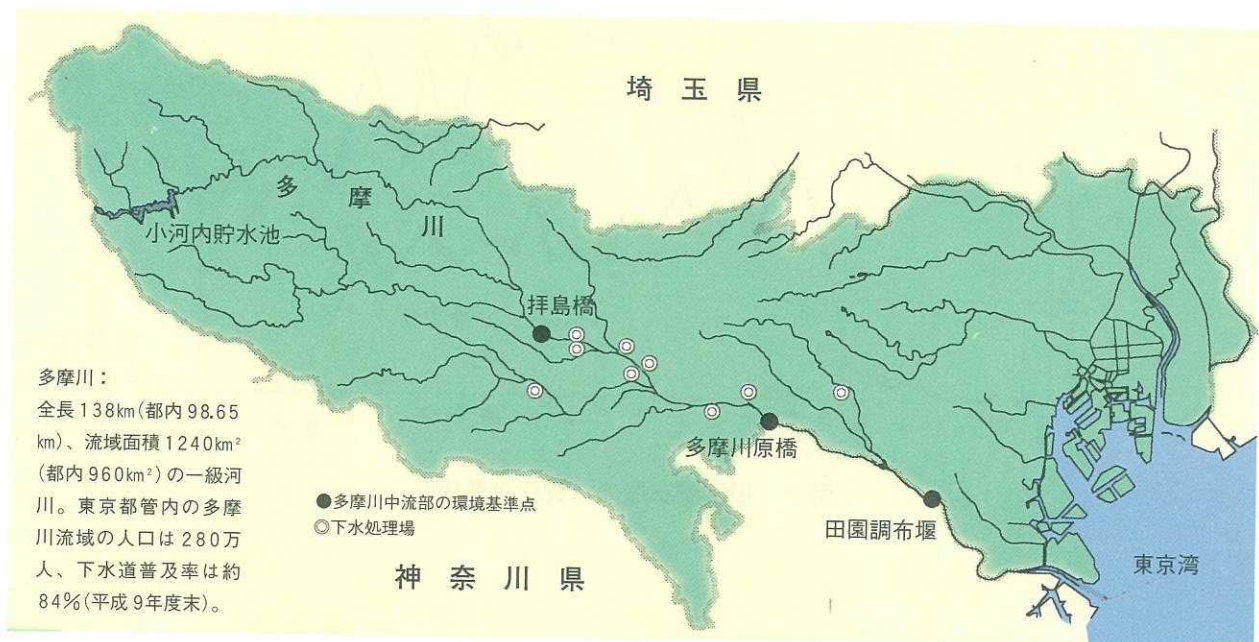


図1 多摩川概念図

2 多摩川の水質変化

多摩川中流部の水質経年変化を図2に示します。多摩川中流部の水質は、1960年ごろから多摩川流域の人口増加、地域開発などによって急激に悪化しましたが、河川の代表的な水質汚濁指標であるBOD（生物化学的酸素要求量）でみると、1978年度をピークにしだいに改善されています。しかし、近年の田園調布堰のBODは横ばい状態で推移しています。この原因としては、下水道普及による水質改善効果が限界に近くなったことやBODの値に影響を与えるアンモニア性窒素はあまり低減していないことが考えられます。

BODはC-BOD（有機物の分解による酸素消費量）とN-BOD（硝化による酸素消費量）で構成されます。硝化菌の存在下でアンモニア性窒素があると、アンモニア性窒素が硝酸性窒素に酸化（硝化）される過程で酸素が消費されます。つまり、N-BOD濃度が高くなり、結果としてBOD濃度も高くなります。N-BODを削減するには、硝化菌とアンモニア性窒素の両方を少なくすることが必要ですが、河川内の硝化菌存在量を人為的に削減するのはむずかしいので、アンモニア性窒素の流入負荷量を削減していくことが現実的な対策となります。なお、アンモニアを構成する非イオン化アンモニアは魚類などの水生生物に対して毒性が高いので、アンモニアは水生生物の生息環境保全の観点からも削減が必要です。東京都水環境保全計画では、アンモニア濃度の高い河川では、水生生物への影響が大きいことからアンモニアの流入負荷を削減していくとしています。

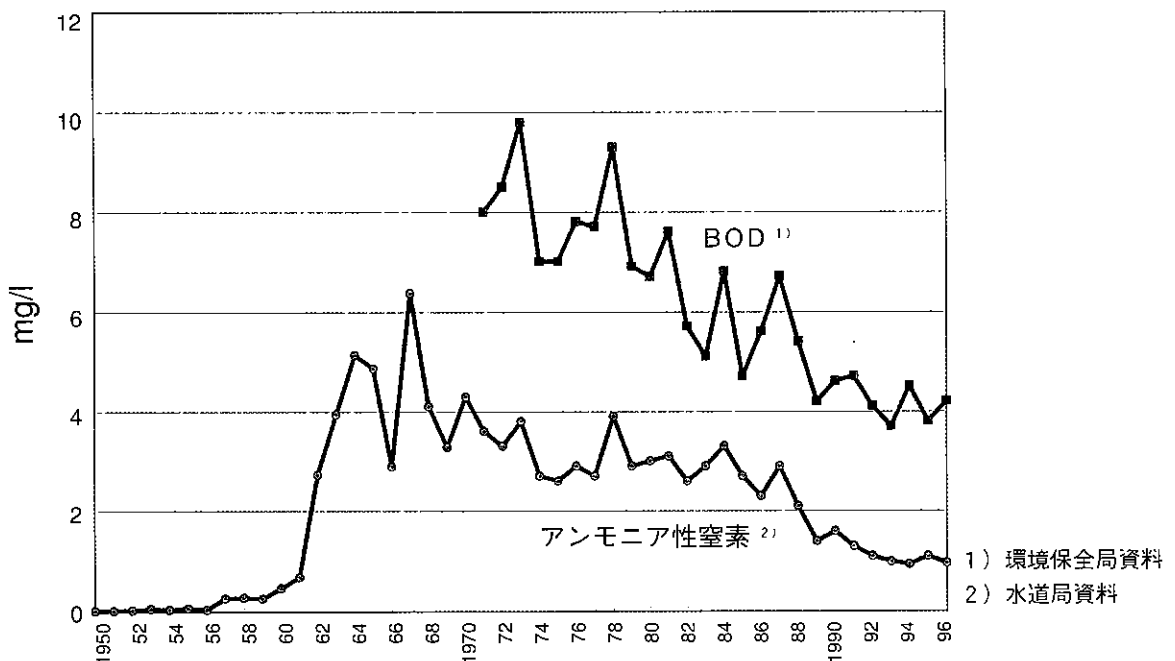


図2 田園調布堰の水質経年変化

3 多摩川中流部への流入負荷

多摩川流域の下水道の普及が高まるにつれて、河川流量に占める下水処理水の割合は大きくなっています。その結果、多摩川中流部の水質は下水処理水に大きく影響されるようになってきました。このような状況を定量的に把握するため、平成8年度に多摩川本川と主な支川、および主な下水処理場に自動採水器を設置して24時間採水を3回実施し、アンモニア性窒素などの物質収支を調べました。

その結果、多摩川中流部に流入する負荷量のうちの下水処理場放流水の負荷量割合は表1のようになりました。水質項目によって多少の違いはありますが、下水処理場放流水の負荷量割合が高いことがわかりました。例えば、アンモニア性窒素では図3のように流入負荷量のうち49～83%が下水処理場放流水によるものでした。つまり、多摩川中流部に流入するアンモニア性窒素のほとんどは下水処理場放流水に由来するものでした。調査した下水処理場の中では、特にK処理場の負荷量が大きいことがわかりました。多摩川中流部のアンモニア性窒素およびN-BODを削減していくためには、負荷量の大きい下水処理場で硝化をすすめる必要があることが明らかになりました。

なお、上記の調査での下水処理場放流水のアンモニア性窒素濃度は処理場によって異なり、同じ日の調査でも濃度が高い処理場は20mg/l以上、低い処理場は2mg/l程度と大きな濃度差がみられました。また同一の処理場であっても、時期によってアンモニア性窒素の負荷量は大きく変化し、K処理場では1月は10月の21倍の負荷量でした。以上の調査結果等を利用して計算を行ったところ、田園調布堰のN-BODを1mg/l以下にするためには、下水処理場放流水のアンモニア性窒素を4mg/l以下に低減することが必要との試算結果を得ました。

項目	7月	10月	1月
T-N	5.9	5.1	6.4
NH ₄ -N	8.3	4.9	7.7
NO _x -N	4.8	5.3	5.0
T-P	6.3	6.2	7.3
C-BOD	4.9	2.6	4.8
COD	5.4	4.5	5.8
TOC	5.3	4.2	5.9
SS	1.6	9	2.5
Cl ⁻	6.2	5.3	5.7
SO ₄ ²⁻	4.5	3.2	4.5

表1 流入負荷量のうちの下水処理場放流水が占める割合(%)

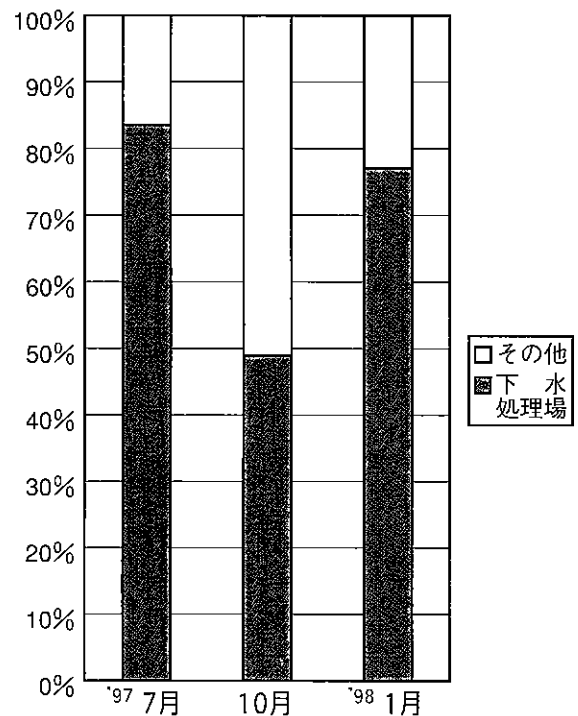


図3 アンモニア性窒素負荷量の下水処理場放流水が占める割合

4 水質改善に対する取り組み

多摩川中流部の水質を改善するための課題を整理してみましょう。

- ①BODを構成するC-BODとN-BODの両方を削減することが必要。
- ②C-BOD負荷量の実態や流出源を明らかにし、効果的な削減対策を検討すること。
- ③N-BODを削減するにはアンモニア性窒素を削減することが必要（図4）。
- ④アンモニア性窒素は下水処理場からの負荷量が大いなので、下水処理場でのアンモニア性窒素の低減対策が必要。下水処理場での硝化をすすめるための技術的条件を確立すること。
- ⑤田園調布堰の河川水に含まれる有機物をCOD*²（化学的酸素要求量）やTOC*³（全有機体炭素量）でみると、その大半が溶解性有機物質である。この溶解性有機物質のほとんどは、下水処理場での活性汚泥処理後に残留する生物難分解性有機物質である（図5）。この難分解性有機物の除去が可能な高度処理技術を検討すること。
- ⑥合流式下水道区域における降雨期の越流水による水質汚濁の実態や雨天時の汚濁負荷量を把握し、多摩川に流入する雨天時負荷の削減を検討すること。

東京都環境科学研究所では、このような課題に取り組み、研究をすすめています。ここでは②、④、⑤に関する研究内容を5～7ページに説明します。

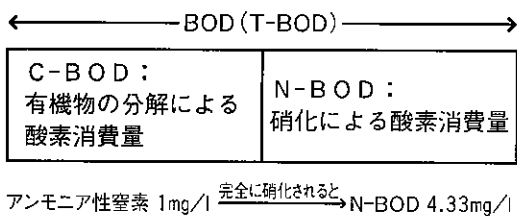
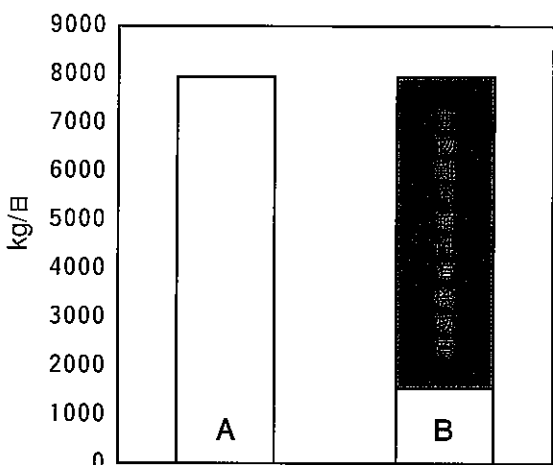


図4 BODの構成およびアンモニア性窒素とN-BODの関係



Aは、TOC（全有機体炭素量）から試算した全有機物をすべて二酸化炭素と水に分解するのに必要な酸素消費量
 Bは、C-BOD、バクテリアなどの生物が有機物を分解するときに消費する酸素消費量
 A-B=生物で分解できない有機物質の存在を示す。

A、Bのデータ：1997年1月の田園調布堰負荷量

図5 生物難分解性有機物質の存在

用語解説

*1 BOD（生物化学的酸素要求量、Biochemical Oxygen Demand）

水中の汚濁物質の量について、それが微生物によって酸化分解される際に必要とされる酸素量をもって表したものをBODとといいます。BODの測定には5日間を要します。一般的にきれいな河川のBODは1mg/l以下です。

BODの分析測定では、硝化（アンモニア性窒素が硝化菌の働きによって硝酸性窒素になること）の影響を受け、BODの値が高くなる場合があります。アンモニア性窒素に起因するBODのことをN-BOD、有機物に起因するBODのことをC-BOD、両方合わせたものをBODまたはT-BODとといいます。

N-BODの値は、硝化作用を制御するATU試薬（N-アリルチオ尿素）を添加して測定したC-BODと、添加しないで測定したT-BODとの差で算出します。アンモニア性窒素1mg/lが硝化され、すべて硝酸性窒素になると、この過程で消費される酸素量は4.33mg/l（菌体の合成で使われる酸素を除く）に相当します。つまり、河川水のアンモニア性窒素が硝化されると、結果としてBODの値が高くなります。

*2 COD（化学的酸素要求量、Chemical Oxygen Demand）

有機物による水質汚濁の程度を示す指標。試料に過マンガン酸カリウムなどの酸化剤を加えて反応させ、消費した酸化剤の量を酸素量に換算した値がCODです。

*3 TOC（全有機体炭素量、Total Organic Carbon）

BODやCODと同様に有機性汚濁の程度を示す指標。高温で試料を燃焼させ、有機物の含まれる炭素と酸素に反応で生成した二酸化炭素の量を測定して試料中の有機体炭素の量を測定します。BODやCODの測定法では反応しない有機物も測定することができます。

a 下水処理場におけるアンモニア性窒素の除去

① 下水処理場の調査結果

下水処理場の中にはアンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) の除去率が高いところもあります。

そこで、アンモニア性窒素がどのような要因によってきまるかを知るため、多摩川流域の下水処理場を中心とする6施設を対象に、処理の実態について詳細な調査を行いました。

その結果、図6のとおり、アンモニア性窒素の除去率をきめる基本的な要因は、汚泥令であることがわかりました。汚泥令とは、ばっ気槽にある活性汚泥が何日で入れ代わるかを示すもので、ばっ気槽の容量が大きいほど、また、活性汚泥濃度が高いほど、大きくなります。これは、アンモニアを硝酸 ($\text{NO}_3\text{-N}$) に酸化する硝化菌は増殖速度が遅いため、硝化菌を十分に増殖させるのに一定以上の汚泥令が必要であることを意味します。このことから、ばっ気槽の容量が限られている処理場の場合も、ばっ気槽の活性汚泥濃度を高めれば、基本的にはアンモニア性窒素の削減が可能であるといえます。

② アンモニア削減の方法とその効果

硝化菌についての室内実験も行って、下水処理場におけるアンモニア削減の方法を整理したのが表2です。この方法を調査対象の6施設に適用した場合、処理水のアンモニア性窒素がどのように変わるかを試算したのが図7です。適用前のアンモニア性窒素の平均が 12mg/l であったのが、適用後は 2mg/l になります。

この研究結果を1993年に報告した後、都が管理する多摩川流域の下水処理場では、同じような方法による改善が行われ、平成9年度の処理水のアンモニア性窒素は $0.2 \sim 3.3\text{mg/l}$ (各処理場の年度平均値) まで低減されました。

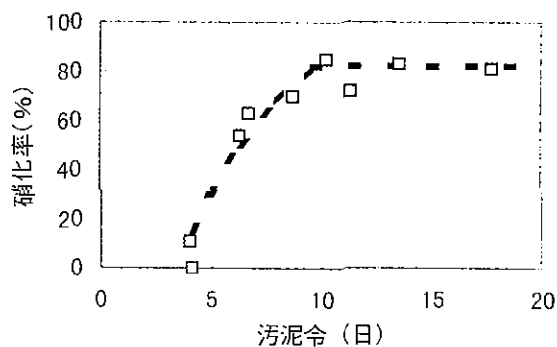


図6 汚泥令とアンモニア除去率との関係

表2 下水処理場のアンモニア削減の方法

ア. 汚泥令の確保：ばっ気槽の活性汚泥濃度を高めて、冬期においては10日以上 の汚泥令を確保する。
イ. 脱窒工程の確保と汚泥返送率の引き上げ ：ばっ気槽前段のばっ気を弱め、同時に 汚泥返送率を高めて、この前段で脱窒 (硝酸の還元)を行う。
ウ. 空気吹込量の増加：アンモニアの酸化等 に必要な酸素を供給する。

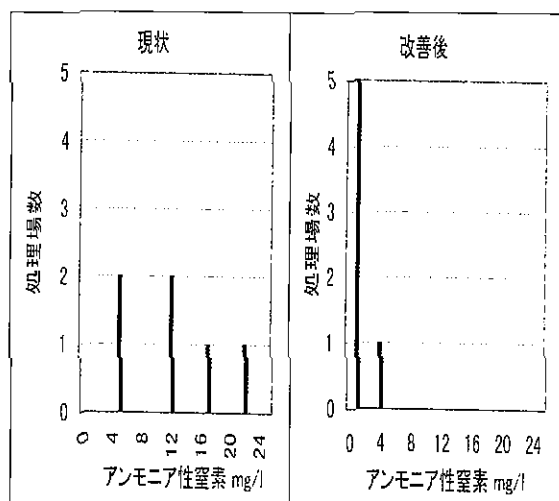


図7 アンモニア削減方法の適用効果の試算

b C-BODの起源

多摩川中流部の多摩川本川、K処理場を対象としてC-BODの負荷量の実態およびC-BODの粒度構成を調査し、その流出源を検討しました。

各調査地点の河川水をろ過孔径の異なるポリカーボネイトメンブレンフィルターでC-BODを粒度別に分けて分析したところ、図8の例に示すとおり溶解性C-BOD（孔径0.4 μmを通過したC-BODとする）は、ほぼ一定の値でした。それに対して、浮遊性C-BODは大きく変動しました。これらのことからC-BODの増減は浮遊性C-BODの増減による影響が大きく、C-BODの50%以上は浮遊性由来であることがわかりました。また、K処理場とその下流に位置する地点のC-BOD変化を比べたところ、K処理場が排出するC-BODの直接的な影響は冬期の一時期だけであることがわかりました。

浮遊性C-BODの起源としては、河床で増殖した付着藻類などの生物の剥離（川底の石などの表面で増えた藻類や細菌類がはがれること）が考えられます。図9に示すように河川付着物のクロロフィル量（付着藻類の現存量）とC-BODを分析したところ両者には高い相関があり、クロロフィル量1mg当たりC-BOD 39mgという値が得られました。

図9の相関式を使用して、河川水中のクロロフィル量に相当するC-BODを算出し、このC-BODが河川水C-BODに占める割合を求めました。その結果、付着藻類由来のC-BOD比率は図10のように大きいことがわかりました。このことは、河川水のC-BODを低減するには、付着藻類由来のC-BODの削減が必要であることを示しています。

付着藻類の増殖要因は主として下水処理場から排出される窒素とリンです。これらの栄養塩をどの程度まで削減すればよいかを明らかにすることが今後の課題です。

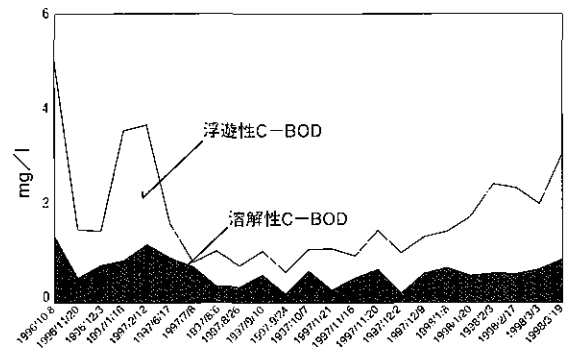


図8 多摩川原橋のC-BOD

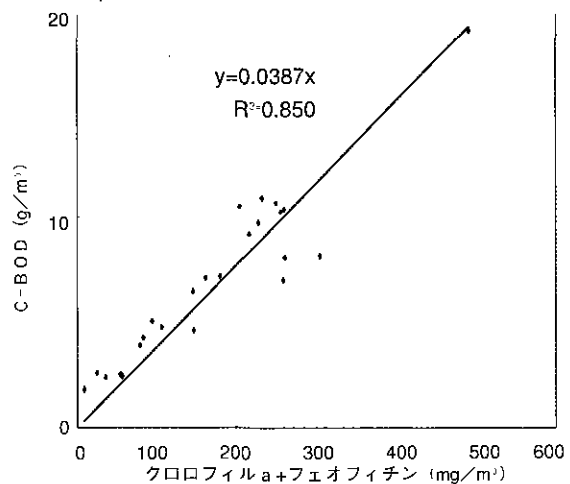


図9 付着藻類のクロロフィル量とC-BOD

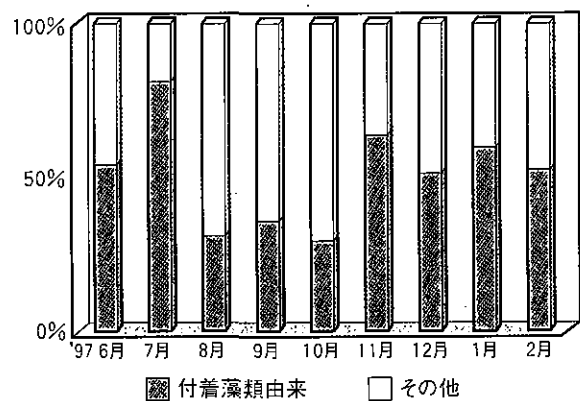


図10 付着藻類のC-BOD割合（二子橋）

c 下水処理場における難分解性有機物質の除去

① 高度処理技術

下水処理水に含まれる難分解性有機物質は、下流に水道浄水場がある場合は水道水のトリハロメタンの原因物質になり、更に、水生生物への影響が懸念されるので、今後はその削減を進めていくことが必要です。

難分解性有機物質の除去技術としては、膜ろ過やオゾン酸化、活性炭処理などの方法があります。下水処理場の高度処理技術として、有望な方法を見出すため、下水処理場の放流水を用いて各方法について室内実験を行いました。その結果は次のとおりでした。

② 高度処理法の室内実験結果

ア 膜ろ過処理

膜ろ過処理は膜の孔の大きさによって、精密ろ過法、限外ろ過法、ナノろ過法（低圧逆浸透法）、逆浸透法の段階があって、後者になるほど、低分子のものを除去できるようになります。このうち、限外ろ過法とナノろ過法について実験を行ったところ、下水処理水中の有機物質を70%以上除去するためには、限外ろ過法では無理で、ナノろ過法が必要であること、しかし、ナノろ過法ではろ過効率が低く、更に、濃縮水の処理の問題が残されるので、実用上、問題があることがわかりました。

イ オゾン酸化処理

オゾン酸化処理の実験を行ったところ、オゾン酸化は有機物質の性状を変える力があるけれども、有機物質の除去能は低いという結果が得られました。

ウ 好気性生物活性炭処理

生物活性炭処理とは、粒状活性炭の充填層に水を流して、水中の有機物質を活性炭に吸着させ、活性炭の細孔に繁殖した細菌類によってその有機物質の分解を進めるもので、すでに水道浄水場の高度処理法として導入されつつある技術です。しかし、下水処理水は水道原水となる河川水と比べて、有機物質の濃度がかなり高いので、この方法を下水処理場に導入する場合は工夫が必要です。そこで、活性炭の中を好気状態に保つように工夫した好気性生物活性炭処理の室内実験を行いました。この結果、36分の処理時間で70%以上の有機物質除去率を9カ月間維持することができました（図11）。

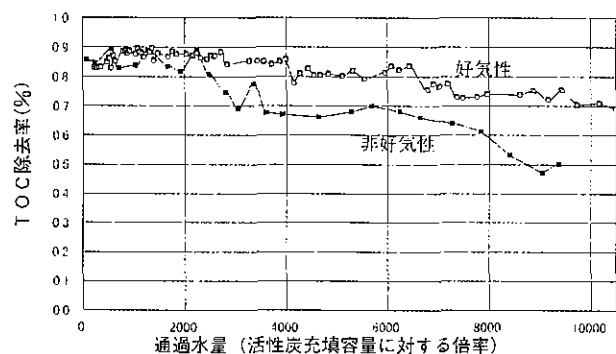


図11 好気性生物活性炭処理の室内実験結果

以上の結果から、下水処理場の難分解性有機物質の除去技術として最も有望な方法は、好気性生物活性炭処理であると考えられます。また、この方法は環境ホルモン物質(内分泌かく乱化学物質)の除去技術としても期待されるものです。

5 多摩川の水質現況

近年の田園調布堰の水質経年変化を図12に示します。田園調布堰の水質は1990年度ころから横ばいで推移していましたが、1997年度からは大幅に改善されています。1997年度の田園調布堰のBOD 75%値* は2.6 mg/lであり、C類型の環境基準を初めて達成しました。この2.6 mg/lは将来目標のB類型（3mg/l以下）も達成しています。田園調布堰のBODは、C-BOD、N-BODともに改善され、アンモニア性窒素も同じ傾向にあります。田園調布堰の1996年度、1997年度の同月負荷量およびK処理場の放流水質を比較した結果、1997年度の水質改善の要因は1996年度に比べ降雨量が多かったことによる希釈効果が主要因ではなく、下水処理水の水質改善、特にアンモニア性窒素の低減が主要因となっていると判断されました。1998年度も1997年度に引き続き水質は改善傾向にあります。

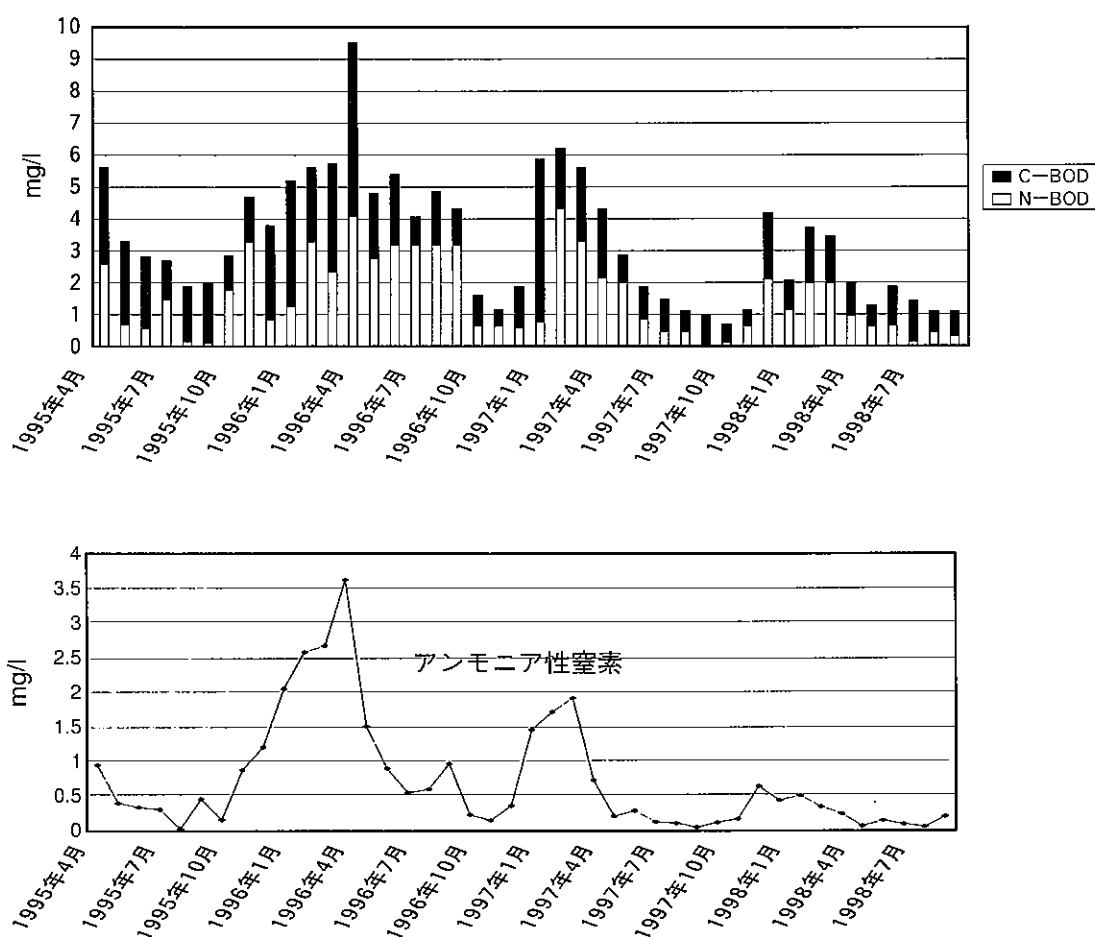
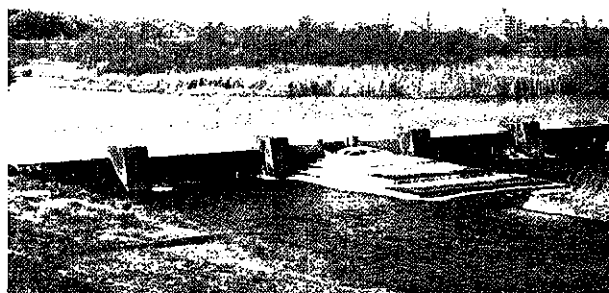


図12 田園調布堰の水質変化

* 75%値とは、測定地点における日平均値の1年間の全データを水質の良いほうから順に並べたときの $0.75 \times n$ 番目（ n は日平均値の全データ数）の値をいいます。この値が、環境基準値以下であるかどうかによって、測定地点における環境基準の達成状況を判定します。

6 今後の課題

東京都では、早い時期に多摩川流域の下水道普及率を100%にすることを目指しています。多摩川流域の下水道普及率（水洗化人口比）は、平成9年度末で多摩地域は約82%、区部はほぼ100%です。下水道の整備は汚濁物質の広域的な削減に効果的ですが、その普及とともに下水処理場放流水が河川水量の多くを占めるようになります。つまり、多摩川中流部への下水処理場放流水の影響は今以上に大きなものとなります。もう一つの問題は、雨天時の水質汚濁です。下水道が普及している地域であっても合流式下水道区域では、雨天時に汚水の一部が河川に越流して水質汚濁の原因となります。多摩川中流部の水質をさらに改善していくためには、下水の高度処理、雨天時負荷の低減など、さまざまな問題を解決していかなければなりません。また、いま問題になっている多摩川のコイなどへの環境ホルモンの影響についても調査研究を進め実態を明らかにしていくことが必要です。



拝島橋下流の日野用水堰



田園調布堰から上流方向

7 まとめ

- 多摩川中流部のアンモニア性窒素等の排出負荷量を調査した結果、多摩川中流部に流入するアンモニア性窒素のほとんどは下水処理場に由来することがわかりました。多摩川中流部のアンモニア性窒素およびN-BODを削減していくためには、下水処理場での硝化をすすめることが必要です。
- 下水処理場での硝化をすすめ、アンモニア性窒素を数mg/l以下にする条件を明らかにしました。主な条件はつぎのとおりです。①冬期においては10日以上汚泥令を確保すること。②脱窒も同時に進行させてpHの低下を抑制すること。③硝化等に必要酸素を供給すること。
- 付着藻類由来のC-BODが河川水C-BODに占める割合は大きいことがわかりました。多摩川中流部のC-BODを削減するには、付着藻類の増殖を抑制することが必要です。このためには多摩川に流入する栄養塩の窒素とリンを削減していくことが必要です。
- 下水処理場で難分解性有機物質を大幅に除去する高度処理技術として、膜ろ過処理法、オゾン酸化法、生物活性炭法を取り上げて室内実験を行ったところ、好気性生物活性炭処理法が有効であることがわかりました。

「研究所の窓」(研究所の活動の紹介)

東京都環境科学研究所の外部評価制度の導入

東京都環境科学研究所では、研究活動の一層の活性化を図るため、平成11年度から新たに研究所外部の委員による研究評価制度を導入することにしました。

これによって、研究内容の充実、研究者の創造性の向上、開かれた研究体制が整備されるとともに、限られた予算を重点的・効率的な配分が図られます。また、評価結果を広く公開することで、都民とのパートナーシップが形成されると考えています。

評価のための部会は、委員7名で構成し、任期は2年となっています。委員の内訳は、学識経験者4名、都民委員2名、国の研究機関の代表者1名となっています。

評価対象とする研究は、新規に実施する研究に対する「事前評価」と、研究が終了した研究報告書に対する「事後評価」などです。評価は、社会的ニーズへの対応、東京都の地域性への適合、技術水準、費用対効果、創造性など幅広い視点から行います。

この評価結果は研究活動に反映させるとともに、インターネット等を通じて公開します。

研究所ニュースに関してのご意見、ご感想を企画普及課広報担当までお寄せ下さい。

環境を考え・行動する
あなたを応援します。

- 図書コーナー
- ビデオコーナー
- パソコンコーナー
- 展示コーナー
- 体験コーナー
- 研修・セミナー室

※各種セミナーも開催しています。
お電話におたずねください。

●開館時間 午前9時～午後7時まで
●休館日 日曜・祝日・年末年始

子供から高齢者まで環境を楽しく学び、考える学習の場。

東京都環境学習センター

〒160 東京都新宿区歌舞伎町2-44-1 東京都健康プラザ(ハイリア)110F
TEL 03-5286-8181～2 FAX 03-5286-8183
(JR新宿駅東口より徒歩10分、西武新宿線 西武新宿駅より徒歩3分)



支援します!
民間団体の環境保全活動を。

定款事業
自然保護等の環境保全活動(普及啓発、調査、実践活動)

助成内容
活動費の3分の1(50万円を限度)

募集時期等
5月 助成金の申込受付
年末～1月 助成金の支払

問い合わせ先
東京都環境保全局指導相談課 TEL 03-6388-3431



発行 東京都環境科学研究所
136-0075 東京都江東区新砂 1-7-5
TEL 03(3699)1331(代) FAX 03(3699)1345
ホームページ <http://www.kankyoken.koto.tokyo.jp/>

印刷 株式会社 新弘堂
平成10年度 登録第13号
1999年4月発行