

[委員会報告]

都市水環境の保全・再生と下水道の役割

ROLES OF WASTEWATER SYSTEMS FOR THE PRESERVATION / RENOVATION OF URBAN WATER ENVIRONMENT

土木学会環境工学委員会
都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査研究小委員会

*Environmental Engineering Committee
Subcommittee on Roles of Wastewater Systems for the
Preservation/Renovation of Urban Water Environment*

1. はじめに

近年、下水道整備の進展により都市水域の水質改善が進み、市民が水辺に接する機会が増大している。それとともに、都市内の河川、水路等の身近な水域に対する市民の関心が高まり、自然豊かな水環境が望まれている。都市の水環境の保全・再生は今後の社会資本整備の重要課題の一つであるが、良好な水環境の形成には健全な水循環系の確立が不可欠である。

下水道は、雨水の収集・排除や汚水の処理を通じて、都市内および流域の水循環に重要な役割を担っている。したがって、下水道の整備手法に新たな観点を加えることにより、下水道が都市の水環境の保全・再生に大きく貢献することが可能となる。

土木学会では、都市水環境の改善に向けた下水道のあり方について建設省から委託を受け、環境工学委員会のもとに「都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査研究小委員会」を組織し、平成6年度より3ヶ年に亘り、調査研究を行った。各委員には都市水環境と下水道の関わりに関する基本的課題と、下水道についての固有の課題と考えられる個別課題についての研究を実施して頂き、研究成果をまとめた¹⁾。個別課題については、水環境の課題から下水道全般の課題まで多岐にわたるので、ここでは、総論としてまとめられた、都市水環境の基本的課題についての委員および幹事から出された報告内容の概要である。委員会の審議の中でも、都市水環境の保全・再生に対する下水道のあり方については様々な見方があり、当然のことながら、ひとつの意見としては集約できなかった。むしろ、様々な見方があることの方が正常であり、行政施策に反映する上で参考になろう。

したがって、本報告の中には、前後で異なった考え方もでてくるが、下水道のあり方について様々な見方があることの証と理解して頂きたい。

なお、都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査研究小委員会の委員、及び幹事は次の通りである。委員長：松尾友矩（東京大学）、委員：渡辺義公（北海道大学）、大村達夫（東北大学）、野池達也（東北大学）、花木啓祐（東京大学）、田中和博（日本大学）、宗宮 功（京都大学）、松井三郎（京都大学）、楠田哲也（九州大学）、古賀憲一（佐賀大学）、曾小川久貴（建設省下水道部）、京才俊則（建設省土木研究所）、佐藤和明（日本下水道事業団）、幹事長：中村栄一（建設省土木研究所）、辻原 浩（建設省下水道部）、吉澤正宏（建設省土木研究所）、畑津十四日（日本下水道事業団）。所属は、平成9年3月現在のものである。

2. 都市水環境の現状と保全・再生の意義

(1) 都市水環境とは

わが国では、下水道法に言うように「…都市の健全な発達及び公衆衛生の向上に寄与し、あわせて公共用水域の水質保全に資する…」ことを目標として下水道整備が進められている。下水道整備が進んだ都市では、浸水は少なくなり、川や池の水質は改善され、川や池に再び魚や鳥の姿を目にするようになった。しかしながら、浸水、不衛生、公害などの古典的都市問題は解決したが、水辺や水域の生態系は変わり、自然との交わりによる安らぎを得るには至らない。人々のニーズが生態系やアメニティーを中心とした水環境に移っているという視点からは、現在の都市水域には新たな課題が生じていると言える。

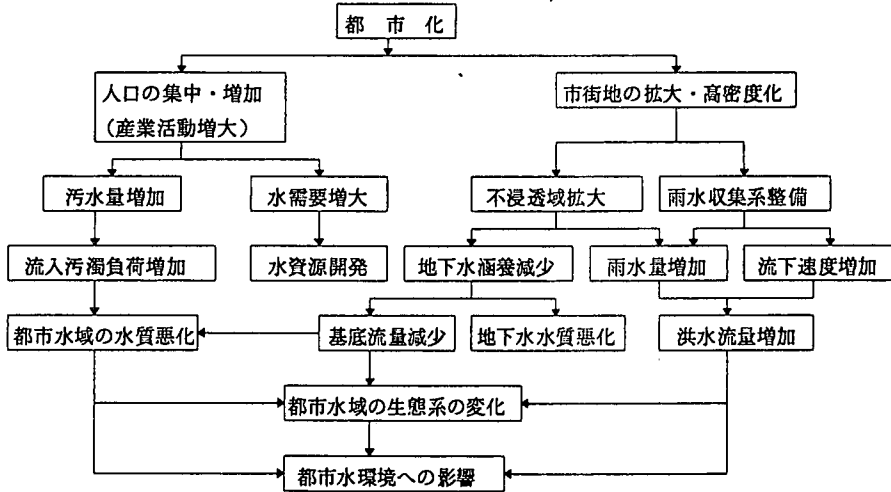


図-1 都市化による都市水環境への影響
文献2)の図を修正

表-1 都市水環境の代表的構成要素と関連要因

代表的構成要素	関連要因
水質 … 水質	下水道普及率, 固有流量, 土地利用…
水量 … 流量	下水道普及率, 固有流量, 不浸透面積率…
水位	流量, 水位制御工作物, 河床幅…
生態系 … 植生	流量, 水位, 河床材料, 底質…
生息魚類	水質(含む水温), 流量, 水位, 河床材料…
水中生物(魚以外)	水質(含む水温), 流量, 水位, 食物連鎖系…
鳥類	水質, 流量, 水位, 植生, 水中生物…

このような状況の中、行政施策の対象として都市水環境を捉えた場合、その確立した定義はない。人々が水環境として都市水域に求めるものも年齢や周りの土地利用等、各種条件によって異なる。ここでは、都市水環境をアメニティーの視点から、表-1に示す代表的構成要素から成る環境として扱う。これら代表的構成要素は、関連要因によって影響される。例えば、水質は下水道普及率、固有水量、土地利用などに影響される。構成要素は要素相互間で関連を持ち、他の構成要素の関連要因となる。例えば、水質、流量、水位は水環境の代表的構成要素であるが、植生、生息魚類、水中生物、鳥類などの生態系の構成要素に影響を与える関連要因となっている。

(2) 都市活動による都市水環境への影響

アメニティーという視点から、都市水環境の代表的構成要素は水質、水量、生態系となるが、これらの要素は水環境を総合的に論ずる視点からも重要である。現在、

我々が目の当たりにする都市水環境は、様々な都市活動により変化した結果である。都市水環境に影響を与え、変化をもたらした重大な都市活動として市街地の拡大・高密度化と人口の集中・増加がある。また、工場立地があるところでは、さらに産業活動の増大が加えられる。

わが国においては、昭和30年代後半からの経済社会活動の高度化の過程で急激な都市化、すなわち市街地の拡大・高密度化と人口の集中・増加が生じたが、これによる都市水環境への影響を定性的に図示すると図-1³⁾のようになる。

人口の集中・増加により局所的に水需要が増大し、汚水量も増加した。これに産業活動の増大が加わり、水需要の増大に拍車をかけた。これに応えるため、新たな水資源開発が行われたが、図-1には水資源開発地域の影響までは示していない。汚水量の増加により、下水道整備が必要となったが、多くの都市においては都市化が急激で計画的ではなかったため下水道整備が追いつかず、また、事業所等の排水に対する規制も不十分であったため、都市水域の水質悪化が進んだ。

他方、市街地の拡大・高密度化により、在来雨水が浸透していた浸透域が減少し、地下水涵養量が減少するとともに、雨水が流出する不浸透域が拡大した。同時に、雨水の流出がし易くなる道路網や下水道管渠網等の雨水収集系の整備も図られた。雨水収集系が整備されると、雨水の流下速度が大きくなり、到達時間が短くなる³⁾。

河川の洪水量は益々増大した。このため、雨水量全体が増え、ピーク洪水流量は増大し、その分の河積の確保が必要となる。都市化が進んからでは河道の近傍には建造

物が押し寄せているため、河道の拡幅による河積確保は困難であり、洪水流速を早めるため河川の直線化や護岸のコンクリート化が進んだ。

また、地下水涵養量が減少すると都市河川の多くは水源が枯渇化し、基底流量は減少した。この結果、下水道が整備されていない地域の河川では平常時水量の相当部分を汚水が占めるようになり、悪臭を放つようになった。また、下水道が整備された地域では平常時水量がほとんど無い河川も現れるようになり、汚水の流入に対して希釈効果が期待できない、水質的に脆弱な河川が増加した。

以上、都市活動による水環境への影響という点で、昭和30年代後半からの経済社会活動の高度化の過程で生じた急激な都市化を例に、市街地の拡大・高密度化と人口の集中・増加による都市水域の水質、水量、および生態系についての影響を述べた。この過程で取られた対応も含め、様々な活動の評価は、当時の法制度や行政の仕組み、政策としての優先度・緊急性、技術水準等々、社会的背景全般を考慮する必要がある。この経験を踏まえ、今の社会的背景や人々のニーズの変化をにらみ、現在の都市水環境に改善点を見出す努力が必要である。

(3) 都市水環境の現況と下水道

都市水環境の保全・再生の課題が生じた背景には、生活が豊かになり、生活に余裕がでてきたこと他に、わが国においては真の水管理⁴⁾が行われていなかったことが挙げられる。本来、多目的ダム建設や河川改修などの河川事業、利水用ダム建設や取水施設建設などの構造改善事業、水力発電による電力事業、上水道事業、そして下水道事業などの水系に影響を与える各種事業や流域内活動に対する規制などは、高水から低水まで、水量から水質まで、さらに、生態系までの全てを対象に各々が有機的な関係を保ちながら実施されるべきである。

しかしながら、現実には個々の施策は連携を持たず、パッチワーク的に実施され、健全な水循環系は確立されていない。このような状況のもとで、都市水環境の現況と下水道事業がとの関わりをまとめる。

a) 水質

昭和30年代からの経済社会活動の高度化の過程で公共用水域の水質汚濁が顕在化すると、下水道は公共用水域の水質保全の役割を担うこととなった。下水道の整備に伴い公共用水域の水質改善は進み、ひと頃のようなドブ川の状況は脱したと言える。しかしながら、有機汚濁に関しては改善されてきたが、窒素やりんなどの栄養塩類の蓄積による閉鎖性水域の富栄養化問題が顕在化するようになっている。従来の排水規制や下水道などの水質

汚濁対策は、工場、事業場、家庭からの排水による有機汚濁や重金属を主体とした有害物質による汚染を念頭に実施され、窒素およびりんに対する対策は十分ではなかった。このため閉鎖性水域の富栄養化対策として、昭和57年には湖沼の窒素、磷の環境基準の告示、平成5年には海域の窒素、磷の排水基準の設定がなされ、下水道も栄養塩類を削減する高度処理が全国的に広がる様相を見ている。

b) 水量

下水道整備により浸水被害は着実に減少しているが、他方では都市化の進行による新たな課題も生じている。すなわち、都市化により緑地や空き地などが道路や宅地に変化し、流域の保水・遊水機能が低下したため、雨水は即座に道路、側溝、下水道へと流入し、短時間のうちに大量の雨水が河川へ流出するようになった。最近では、雨水を速やかに集めて速やかに排除する、という思想には拘らない、雨水の貯留とか浸透を加味した下水道整備が進められているが、洪水流量の増大に如何に対処するかは、施設の改築・更新の課題となっている。

他方、このような洪水流量増とは反対に、平水時の水量減も問題となっている。都市化による土地利用の変化、不浸透域の増加に伴い、地下水涵養量が低下し、湧水など固有水源の枯渇化が生じている⁵⁾。下水道整備の進捗と共に、汚水の流入量が減ったことも都市河川流量の減少の一因ではあるが、汚水の起源である水道水は都市河川から取水したわけではなく、もともと都市河川にはなかった水なので、都市河川流量の減少の原因を下水道整備とするのは当たらない。

c) 生態系

水域の中でもとくに瀬や淵、ヨシ原、干潟、浅瀬等は多様な生物の生育場所であり、コンクリート護岸等の人工物によりこれらが改変、消失してしまうと多くの生物種の存続に影響が生ずる危険性も指摘されている。人々の水辺回帰への欲求や生態系の保全・再生を求める声は年々高まっている。一部の地域の下水道では、水質汚濁の防止の視点ではなく、水環境の保全の視点からの水質改善や平水時水量の確保のため高度処理を導入したり高度処理水の放流地点の変更、さらに植樹等による景観再生を行い、失われつつあったせせらぎの復活を果たしている。すなわち、水質、水量の改善とともに生態系の保全・再生を図るため、アクアトピアや水循環・再生下水道モデル事業と呼ばれる下水道モデル事業⁶⁾を展開している。

(4) 都市水環境の保全・再生の意義

生活の場、産業の場から発生した下水をその場から速やかに排除し、河海に放流するという近代下水道の成立からは既に 100 年以上の歳月が経過している。この間、し尿を水で流すという技術から始まり、集めた下水の利用や処理、発生した汚泥の処理、処理水や汚泥の利用、施設の利用等々、様々な面からの技術開発が行われてきた。

しかしながら、これからの下水道のあり方を考えるとき、浸水防除、便所の水洗化による生活環境改善、公共用水域の水質汚濁防止など、現在の下水道が内在している目的のみを追求した下水道は、将来の社会が求める下水道とは異なる可能性がある。

地球規模での環境が問題とされる背景には、大気、水、動植物などの地球規模の自然環境が壊れつつあることと同時に、われわれが消費している様々な資源やエネルギーが無尽蔵ではなく、このまま消費を続ければ地球規模時間で間もなく無くなるであろうという警告がある。さらに、本論が対象としている水環境についても、資源やエネルギーと同列に位置するものであると言える。水環境は、機能を重視した各種のインフラ整備により少しずつ傷つき、失われつつある。したがって、これからの下水道のあり方を考える場合に重要なことは、下水道が整備される地域、隣接する地域などの限定された地域の環境と、下水道事業で消費する資源、エネルギーおよび影響を与える水環境を事業の目標あるいは制約の要因として内在化することである。この結果得られる一つの姿は、自然に対して慎み深く、倫理観あふれた下水道であり、自然と共生し、存在が持続できる人工構造物としての下水道である。このための技術的配慮の一つとして省資源、省エネルギーが重要となり、既に定着した思想として受け止められている。

しかしながら、技術的な配慮として「水環境へのやさしさ」は、まだまだ十分な定着を見ているとは言い難い。生活水準が向上し、余暇に費やされる時間も増え、生活に潤いを求めるようになると、人々は失われた水環境の価値の大きさに気がつく。自然豊かで生物の多様性に富んだ都市水環境は、生活者に心身の健康と生きがいを与える。そして下水道が都市水環境の保全・再生に貢献するということは、明日の下水道としての存在と必要性をアピールすることに他ならない。

3. 都市水環境の保全・再生の方向と視点

(1) 都市水環境の保全・再生と総合的水管理

a) 時代の流れと都市水環境管理施設

海城、河川ならびに湖沼の水質管理が、環境基準の設定・遵守と言う立場から始まってから既に 4 半世紀が経過している。しかしながら、生活環境に係わる基準値達成は横這い状況にある。河川水質は徐々に改善してきているが、それでも四分の一弱の河川は環境基準値を満たしていない。当初掲げた目標が高すぎるのか、行政目標を変化させすぎなのか、技術が追いつかないのか、制御をしようとする問題の内容・設定方法に問題があるのか、明快な解析はほとんどされていない。

都市経営の視点からは都市建設の時代は終わり、管理の時代に入った。従来の仕事の仕方や解決法が加速度的に変質させられる時代となりつつある。下水道は、都市水環境に係わる現在の目標、方法を高い立場で都市水環境の管理を自らの責務として位置づけ、他の部署と統合して、より近代的な都市経営に参画する方向を模索しなければならない。

都市生活者は、生活様式を省資源・省エネルギーの立場に変えなければ、将来は歪んだ生活環境になりそうだと意識しだし、自然への回帰を希求する時代となり、自然のなかで暮らすことが最も価値あることではないかと考えはじめています。

人々はより快適な生活空間を求め、新たな水環境を今まで以上に望み、新たな水資源の開発と水辺の創造が必要となっている。都会の基盤・生産拡大の時代に消滅させた身近な自然環境を復活させ、水環境や緑の再生を望む意向が出始めている。

b) 既存の下水道と今後の技術展望

人口が百万人を越える政令指定都市にあつては、既に下水道普及率は 90% を越え、建設の時代から管理の時代へと移っている。このような都市では下水道の技術開発の方向も、水質汚濁防止の技術から飛び出し、管渠管理技術から管渠有効利用技術へ、下水処理、汚泥処理技術から資源有効利用技術へと変化しだしている。

管渠技術は、都市雨水排除機構の強化、管渠材料、下水管路自体の維持管理・利用法などに進歩が見られるが、どこでも同じお仕着せの技術が適用され、同じ施設しかない。個々の都市に表情があるように、地域的な、各都市特有の条件がもっと正直に表に現れてくる技術の適用を模索する必要がある。

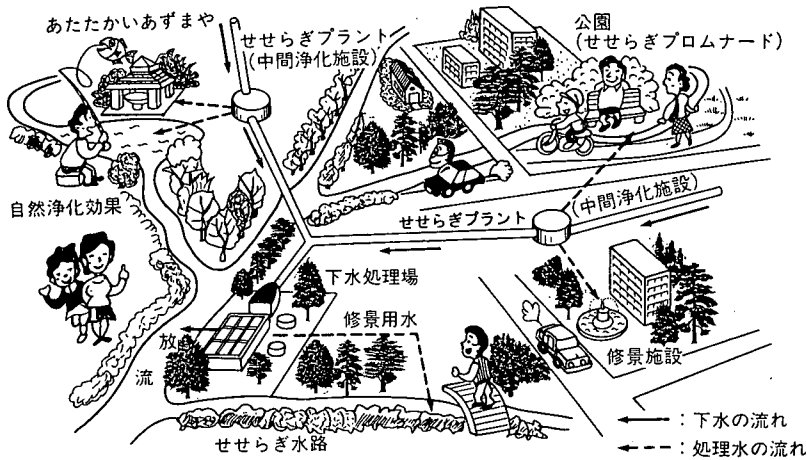


図-2 下水の循環利用概念図

下水処理技術も同様である。下水処理は水環境の水質管理をする第一義的施設であるが、実務的に水環境を管理しているという意識はきわめて薄弱であり、排水基準の遵守に励む事に汲々するというレベルでの発想に止まっている。高度な処理技術の適用のため、社会的コンセンサスを得るための新しい規準作りが求められている。

都市内利用可能ストック水量を活用する概念から、新たな水循環の構築のため下水を集めて、処理して、再利用する事業への変身が求められるが、用途がトイレ用水に限られる従来型の発想ではコスト高となつてほとんど計画倒れとなる。水の都市内再利用に関しては既に多くの夢が描かれ、次世代の都市の下水道システムとして、図-2⁷⁾など描かれている。

都市内のストック水量を増加させれば、新たな利水体系を構築し、地下水涵養、都市内道路の洗浄、小河川の復活、消火用水・緊急用水水源の確保ができる。結果として、都市内での水循環利用の増大を促し、豊かで潤いのある都市水環境を創造し、緑と水辺を復活し、小魚を含む都市内水関連生態系を復活することを可能にする。このため、都市内水辺を管理する総合水環境管理体系を構築すべきであろう。

c) 都市水辺管理と機能的再利用水処理施設の開発

下水道を都市内の水を集めて、処理して、使う施設と位置づけると、位置のエネルギーを有効利用するため、都市のブロック毎に高度処理技術を使った水再生施設を設置し、高度処理水を貯留すれば、緊急使用や地域水辺への供給源となる。さらに、管路施設の一部を構成する雨水管渠接合部、マンホール部、越流箇所などで面源汚濁制御と雨水利用とを兼ね備えた貯留・処理システムを構築し、下水処理水の貯留施設と合わせて、都市内貯留水量を統合的に管理するシステムの構築を目指す。また、

各家庭においても水再利用を積極的に進め、水を質に応じて使い分けるいわゆる水利用の高度化を図り、都市内水源を生み出す施設とする。

新しい水環境管理システムでは、各地に造られたポンプ施設、巨大なマンホール、管渠、放流口などを大いに活用する。下水管を主として下水と汚泥の輸送管と位置づけ、処理水を送水するパイプを管内に格納する場とし、水は需要のある場の近くで製造することを大原則に、各地域ブロックで、高度処理をするコンパクト超高度処理施設を配置する⁸⁾。発生汚泥は処理場まで輸送し、まとめて処理をし、必要に応じて、資源回収を試みる。下水道が有する土地ないし下水管渠空間は、雨水排水システムの貯留槽として有効活用できる。ファーストフラッシュによる汚濁防止対策、緊急用水の供給対策などに役立つ。

(2) 都市水環境の保全・再生の社会的評価

都市水環境の保全・再生は、住民や地域社会に喜んで受け入れられる施策である。すでに各地で試みが始まり、評価もなされつつある。しかし、まだ試行錯誤の段階にあるため、統一的な評価方法や評価基準は得られていない。住民も完成したものを目の当たりにすると学習効果により評価の視点を変え、要求水準をさらに向上させることになる。したがって、今後評価水準の向上により、施設の計画理念・技法、適用技術、管理方式がより高質のものへと展開していくと思われる。

ところで、このような水環境保全施策は、基本的には住民の要求と価値評価に応じてなされるべきである。ただし、その判断に際しては考慮対象境界を広げ全体をシステムとして捉えること、および住民の判断の限界を認識しておかなければならない。都市水環境の保全・再生の評価にあたっては、時間(当座、経世代、判断基準の

表-2 社会空間軸における評価項目の分類

社会空間	評価項目
住民	水の清澄さ、におい、水辺、周辺風景、水位、好ましい生物種
都市	水循環、都市景観、公平性（負担、便益、リスク）、微気象変化
流域	水資源配分、水運用、水質水量管理、地下水管理、危機管理、費用便益、エネルギー消費量
国家	流域間水輸送、危機管理、生物多様性、文化財
地球	環境資源、地球温暖化、生物多様性

変化)、社会空間(住民、都市、流域、国家、地球)、物理空間(大気圏、水圏、土壌圏)、適用技法、資源(環境、エネルギー、温暖化ガス)、費用対価値などの評価軸がある。ここでは、時間軸、社会空間軸、社会的な技術軸に重点を置いて考察する。

時間軸では、当座のことのみを考える判断と次世代以降にも心を配る判断がある。評価技術上の問題として、時間経過にともない価値判断の指標と基準が変化するという厄介な問題も抱えている。この問題は計画技術とも関連しており、かなり長期の予測を正確に行うことが求められているが、現時点では具体的な提案はなされていない。次に、社会空間軸での評価項目の分類を表-2に示す⁹⁾。

住民の認識対象は生活空間だけであることが多い。意識空間が流域、水循環、生態系にまで広がるにはかなり高度の環境に対する知識と認識がいる。よく経験されているところであるが、環境への人々の要求は、二分される。自然環境が多いほど良しとするものと清浄な管理された環境ほど良しとするものである。すなわち、自然環境主義と生活環境主義との対立である。前者は自然環境に野生味が豊かなほど望ましいとし、後者は人の手により完全に管理され、快適であることを求めるもので、公園に木々の緑は欲しいが落ち葉は困る、とんぼは見たいが蚊は困るという類のものである。後者の欲求はわが国において特に強く、自然空間-といっても、かなり人の手が入っている-と生活空間の心理的乖離が人々の間でかなり進行していることが背景にある。このように価値観が二分された事態が長期的に続くことは、水環境保全の正当な評価を難しくし、さらに、省エネなどの地球環境保全への動機付けを困難にする。したがって、住民による評価は必須であるが、すべてではない。さらにいうならば、社会的評価の内容を議論する以前に何らかの対応策を取らなければならない事態になっている。評価に

関わる他の注意点として、住民の行為・行動に対する安全性の確保がある。行政に依存し当事者の危険管理を全く不必要とするような施設づくりは危険管理のできない人の育成につながり、長期的には社会負担の増加による社会存立の危機につながる。現在の災害判例とは流れは異なるが、情報を与えた上で行政の危険回避責任に限界を設けるようにすることが望まれる。

都市としては、水環境の整備が都市のイメージや景観に及ぼす影響、便益の住民に対する公平性、都市の微気象に及ぼす影響、緊急時の水辺の活用法などが評価として気になる。施設整備においては投入資金当たりの効用を最大にすることが重要である。そのためには、環境整備の効用を貨幣価値で表現できるものと非貨幣価値としてしか表現できないものに分けて評価を多面的にする必要がある。貨幣価値で示せるものに限っても現在の施策は費用負担意識がかなり希薄な故に許されているところが行政側、住民側のいずれにもある。その結果としての利用実態が問題になるような施設の整備だけは避けたい。非貨幣価値的評価は容易ではない。アンケート調査などをもとに定量的表現が試みられているが、人が行う評価に幅が有りすぎ、システムとしての整合性を有する計画に利用できるまでには至っていない。

流域では、水循環をシステムとして捉え、流域の中で量的、質的に無駄のない利用形態、流水形態を保持しておくことが社会から要請されている。水不足の際には下水再生水の利用も必要ではあるが、水利権の調整等により水源確保が可能な場合には低コストのものから利用し、経費節減や地球温暖化防止を図るべきである。したがって、評価は事例ごとになされなければならない、一般論の評価はない。生態系は多様である方が望ましいが、空間的に安定して多様な生物を存在させることよりは、時間変動を含めて多様性を確保することの方が望ましい。

地球としては、生態系の多様性の保持と二酸化炭素排出量の増加につながるエネルギー消費量が、主要評価因子となる。植生の保持により二酸化炭素の固定量を増加させるのが望ましいことはいうまでもない。また、費用対効果 B/C に類似的、建設・維持管理用エネルギー消費量対便益である B/E を一つの指標として評価する時代が近づきつつある。評価の立場はいろいろあるが、とくに、最近の環境保全に対する要請はめぐり巡って自己が負担するという発想に欠けるものが少なくない。環境保全にはかなり経費がかかり、そのために負担増となることを住民に十分認識してもらう必要がある。

水環境保全再生施設の管理や機能に関わる評価には、

技術論によるものと利用者としての社会的なものがある。技術論としては、管理状態の水準決定、維持管理費、他の都市システムとの相互関係などがあり、比較的容易に推察できる。ところが、社会的なものは容易でない。社会構造は、その地域における産業構造や人口分布の影響、ならびに政策の影響、および住民の環境に対する認識状態を直接的に受ける。たとえば、人口減、高齢化、親子・家族関係の変化はその地域の活動、住民のライフスタイルを大きく変えたものにする。わが国の総人口の減少が確実視されており、それにとまなう高齢化の中の生産余剰の減少は所得に対する税負担を上昇させることになる。したがって、計画当初より維持費の削減を徹底しておかなければ将来問題を生じることになる。一方、人口構成の変化は水環境保全施設の評価を直接的に異なったものとする。特に、一時期に集中的に開発された住宅地においては、住民の年齢構成が歪んでいるので社会施設の利用形態の変動が極めて大きくなる。いいかえると受益者が大きく変化する。また住民の環境に対する認識は行動主体としての基本姿勢を規定する。客体としての環境と主体との関係性は細部まで見ず環境保全再生を左右する。このように社会的評価は多面性を有している。

インターネットの普及がどのような意識変革をもたらすかは明確でないが、今日、我々の情報伝達手段は大きく変化しつつある。住民の認識度や集団としての意見形成法をコンピュータネットワークが根本的に変化させる可能性がある。今後注意を払っていかねばならない。

(3) 地域水循環システムと下水道

米国のデンバー市では下水処理水の飲料水化のパイロットプラント実験が実施されている。実際に下水処理水を飲料水とするための実験ではなく、デンバーでは下水処理水を水道水源とせざるをえないほどの水不足であることを PR し、分水嶺の反対側の豊富な水資源をデンバーに分けてもらうための苦肉の策と思われる。除去すべき不純物の濃度では海水よりはるかに低い下水処理水を飲料水の現行の水質基準を満足するレベルに処理することが技術的に可能でも、人間の感覚としては受け入れられるものではない。しかし、現実には、淀川の例に見られる繰り返し利水もあり、下水または下水処理水の混入の割合が多いか少ないかの違いのみである。則ち、自然水と下水とのブレンド水が水道原水のほとんどであり、高度浄水処理を前提にすれば、下水処理水の混入した河川水をいかに確保し、都市用水の水源とするかは、下水よりもはるかに不純物の多い海水を淡水化するより以前

に考えるべきである。

ダムによる貯水や長距離導水といった土木工学的解決策とは別の、水処理技術を基盤に置いた地域水循環システムの構築による水資源開発も必要な地域が増加している。地域水循環システムの構築のためには、下水道や合併処理浄化槽といった排水側における高度な水質管理が不可欠である。しかし、下水処理水や合併処理浄化槽処理水の直接的再利用は、平常時にはその用途に限界（ウォッシュレットの普及により水洗トイレ用水にも使えない）がある。一度処理水を自然に戻して、身近かな水資源として再生させた後に、水処理技術によって用途に応じた水質に改善する地域循環型水利用システムの構築を目指すべきであろう。

しかし、たとえ下水高度処理水を戻すにしても、原水の溶解性物質濃度の増加、クリプトスポルジウムのような耐塩素性病原微生物の混入、配水管内での微生物増殖に対応するために、浄水システムはオゾン酸化、活性炭吸着、膜分離を組み合わせた高度浄水処理システムが必須となる。

(4) 都市水環境の保全・再生における総合的視点

都市の水環境を保全するためにとられる様々な施策は、それぞれの範囲内で水環境への負担を小さくし、自然の水環境の持つ豊かさを生かす方向に向けられている。しかし、それぞれの範囲の中でなしうる改善には必ずから限界がある。全体として水環境を見た場合、そういった個別の対策の最適化を積み重ねたものが全体として最適であることには必ずしもならない。それは、個別の対策を考える際には境界条件を所与のものとして与え、その中で最適化を考えるからである。この点をブレイクスルーするためには総合的に水環境を捉え、のぞましい総合対策を判断していくことが求められる。

都市のように人口とそれに起因する都市活動が集積している場では、水資源の面で自立を図ることが困難であり、水の循環利用を図り、少しでも自立性を高めることが必要となる。その循環利用を進めるにあたっていくつもの可能性がある。それぞれの循環の形態によって、浄水または排水処理として必要とされる要件も異なり、したがって適用される技術も異なる。従来行われてきたのは、個々の技術に対して、処理水質の水準のような必要条件を与え、その下での最適化である。しかし、水系全体としての最適化ははるかに複雑である。表-3¹⁰⁾にはそれぞれのスケールの水循環において最適化を図る際の要因と判断基準を示す。

表-3 水循環における最適化の考え方

	個別環境	地区循環	流域循環
処理の拠点	ビル単位の処理施設	下水処理場	下水処理場+河川
水質変換機能の特徴	再利用のみを目的とした排水処理	高度処理・二次処理	下水処理 浄水処理 水系の自浄作用の活用（生態工学）
水循環面での効果	取水量の削減	取水量の削減 水環境改善（主として水質）	水環境改善（主として水量）
最適化を行う対象要素	高度処理技術の選択	下水処理技術（高度処理含む）の選択 高度処理の対象比率	下水処理技術（高度処理含む）の選択 浄水処理技術の選択 自浄作用の活用
最適化の判断基準	再利用水の必要水質を満たすことを条件として ・コスト ・CO ₂ 、エネルギー	再利用水の必要水質を満たすことを条件として ・水環境改善効果 ・コスト ・CO ₂ 、エネルギー ・資源回収	・水環境改善効果 ・生態系にとっての健全度 ・コスト ・CO ₂ 、エネルギー ・健康リスク （下水による飲料水汚染）

まず、個別循環においては、再利用の必要量だけ排水を必要な水質まで処理することになり、コストとエネルギーまたは CO₂ 負荷が判断基準となる。具体的にはライフサイクル分析を行うことによって環境負荷を計量することにより、望ましい排水技術を判断することが出来る。これは同一のパフォーマンスを持つ技術の比較であり、ライフサイクル分析に適した対象である。プラント建設、個々のプロセスの運転で用いられる資材、消費エネルギーからライフサイクル的な環境負荷を算出することができる。

下水処理場を拠点とした地区循環の場合、下水処理水の一部のみが高度処理を受けて再利用に供される。再利用水に必要な水質は個別循環の場合と同じであるが、再利用せずに水環境へと放流される水にどの程度の処理を施すかは選択の余地が大きい。判断基準としては、再利用水の必要水質を満たす条件の中で、水環境改善効果、コスト、エネルギーまたは CO₂ 負荷がある。ここでは、水環境の改善効果、すなわち水環境への負荷の削減とエネルギー・CO₂ 増加の間のトレードオフを考えることが必要になる。この段階はライフサイクルアセスメントのインパクト分析の段階であり、前者と後者に対して重み付けを行うことによって最適な案を選択することが本来可能であるが、現時点では確立された重み付け係数が存在しない状況である。さらに、処理場を拠点とした地区循環の場合、下水および下水污泥処理過程からの資源回収の可能性、あるいは逆に污泥処分の必要性も本来的に重要な視点である。とりわけ、污泥処理の方法や污泥処理過程で用いる薬品によって資源としての利用可能性が

影響されるので、その点も含めた評価が必要であり、資源利用可能性が高いような下水処理プロセスを選択していくという、ゼロエミッション型の発想も重要である。

流域循環は、取水-水利用-処理-放流により、元の水系に水が戻るといふ、従来からも見られる姿であるが、ここでは、水環境の持つ自浄能力を期待しつつ、同時に水環境への負担を考えてシステムを構築する点、また小刻みに水系に水を戻す点が重要である。すなわち、それぞれの排水処理においては、その排水基準を守ることのみを目的にするのではなく、放流後の自浄作用と環境負荷を考えて処理の水準を決定することになる。判断基準としては、下水処理及び浄水処理に対するものとは別に、生態系にとっての健全度も付け加わる。複数の排水処理、浄水処理技術の流れに沿って直列的に組み合わせる。

4. 都市水環境の保全・再生のための対策

(1) 下水処理水の再利用

下水道は、人間生活や社会活動に伴って、都市域から発生するすべての排水を効率的に排除し、処理する合理的システムである。人間が自らの生命活動によって汚染した水を自らの手で処理し、水域に負荷を与えない機能を有するのが下水道であり、水循環のなかできわめて重要な役割をになっている。

地球環境時代における環境保全の基本的なありかたの一つは、自然界における物質の健全な「循環」であり、また、人間生活に本来の潤いとやすらぎをもたらす滑ら

かな水質と豊かな水量に恵まれた水環境の創造である。近年、下水道事業の着実な進展の結果大都市において下水道普及率が高水準に引き上げられてきているが、都市基盤施設の充実に伴い、一方では生活の質およびアメニティに対するニーズが形成されてきている。

21世紀においては、ますます人間の精神的豊かさが求められる時代の到来が予想される。下水道は都市で発生する汚水と雨水を効率的に排除、処理・処分し、さらに処理水および雨水の再利用において、アメニティ向上に大きく貢献できる可能性を有している。例えば、処理水や一時貯留した雨水を公園池水、小川の復活等の水辺環境水として導入することにより、都市にうるおいを創出するとともに、その都市に古来より伝えられた伝統的な「親水行事」等の水文化を新たに復興し、継承していくことも可能となる。わが国においては、都市内水環境を管理する上で自然水が豊富に利用できる都市は多くない。都市域における水不足は下水処理水の様々な用途での利用促進の原動力となっている。また、阪神淡路大震災の教訓により、地震・火災・渇水時に対して緊急に水利用可能な安全な街づくりが求められるようになった。都市内での利用可能水量の増大を図るためには、都市内の水のストック量を増大する必要がある。そのためにも水辺の復活は都市内貯水量を増すために効果的であるが、同時に下水の高度処理水の再利用のための安全性を高めるために、一定時間の滞留および太陽光線の照射は大きな意味を有するものである。一般家庭における水道水の使用は、飲料水、台所、風呂、洗濯、トイレおよび洗車用水と多岐にわたっているが、飲料水、台所および風呂用水をのぞいて処理水で代用され得る。もし、下水処理場からの配管の問題が解決されれば、処理水再利用量はさらに増大して行くであろうし、上水使用量を減少させることができ、浄水場における水処理量の縮小、さらに、上水取水による河川流量の減少を防ぐ効果も考えられる。都市内水環境の制御とストック量の増大のために、雨水および下水処理水有効利用施設、地下水の函養と利用、都市内貯留槽群や河川群等が都市内にバランスよく配置され、管理される必要がある。

都市における環境水としての再生水の利用にあたっては、環境に対する効果や社会性、経済性、地域特性等を総合評価し、効率的かつ環境低負荷型システムを実施すべきである。また、同時に、再生水によって創出される水環境の生態系が保全される水質が保持されなければならない。市民、とくに子供達が再生水に接触する機会が多くなるため、感染性の病原性微生物に対する安全性が

確保されなければならない。ウイルスやクリプトスポルジウム等の原虫は塩素に対する抵抗力が強く、処理過程・消毒過程で除去や不活性化がなされなかった場合、再利用水に移行する。今日では、大腸菌群数が病原性微生物の指標としての役割を十分に担うことができなくなり、新たな指標微生物を見出す必要がある。これらのことから、今後、下水処理水の再利用を促進していくためには、病原微生物に対する処理技術や消毒技術を研究開発し、再利用水の疫学的安全性への市民の信頼度を高めていくことが急務とされる。

下水処理過程における臭気、色度の消長については、過去に多くの調査が行われてきている。生物処理水の臭気は、流入下水および返流水の臭気と比べて著しく減少する。色度についても同様なことがいえる。再利用の目的に応じて、オゾン、活性炭処理も含めた、臭気・色度除去への適切な対応がなされなければならない。

(2) 下水処理における消毒技術

下水処理水の消毒は、公衆衛生の確保という観点から下水処理における重要な過程の一つである。今日まで、下水処理水の消毒には、経済性等の面から塩素が一般的に用いられており、下水処理水の放流水基準である大腸菌群数 3000 個/ml を達成している。しかしながら、近年都市における潜在的な水資源の逼迫に伴う下水処理水の再利用が言われるようになり、水洗便所用水、修景用水、親水用水等へ積極的な活用が模索されてきている。さらに、下水処理水を受容する水域が上水道の水源となる場合や、水産用水域として利用されている場合などがありこれらの観点から見ると塩素消毒が必ずしも適した消毒技術とは言えなくなっている。同時に下水処理水の放流水基準である大腸菌群数 3000 個/ml の見直しの検討も必要である。また、塩素消毒過程から生じるトリハロメタンの生成や残留塩素の存在は受容水域の有効利用に重大な問題を提起している。塩素による消毒効果から見ると、原虫やウイルスに対する塩素消毒の効果は少なく、大腸菌に代表されるような細菌に対する効果ほど消毒効果は期待できない点も問題とされる。

この様な塩素消毒に対して、その代替消毒技術として紫外線消毒やオゾン消毒が注目を集めてきている。そのほか二酸化塩素消毒や電子線照射などがあるがどちらかといえばまだまだ検討段階と言える。

紫外線消毒は塩素消毒に見られるようなトリハロメタンなどの副生成物がなく、ウイルスの不活化にも効果があり下水処理水の再利用や下水処理水受容水域の有効利

表-4 種々な消毒剤に対する各種微生物の Ct 値

微生物種	消 毒 剤			
	遊離塩素 pH6-7	クロラミン pH8-9	二酸化塩素 pH6-7	オゾン pH6-7
E.Coi 1	0.034- 0.05	95- 180	0.4- 0.45	0.02
Polio 1	1.1- 2.5	768- 3 740	0.2- 6.7	0.1- 0.2
Rotavirus	0.01- 0.05	3 806- 6 476	0.2- 2.1	0.006- 0.06
Phage f2	0.08- 0.18	ND	ND	ND
G. lamblia cysts	47- > 150	2 200 ^(a)	26 ^(a)	0.5-0.6
G. muris cysts	30- 630	1 400	7.2- 18.5	1.8- 2.0
cryptosporidium	7 200 ^(b)	7 200 ^(c)	78 ^(c)	5- 10 ^(b)

注：Ct 値は下記の例外をのぞいて 5℃における 99%不活化のための値である。単位は mg・l⁻¹・分。

(a) pH 7, 25℃における 99%不活化のための値

(b) pH 7, 25℃における 99%不活化のための値

(c) pH 7, 25℃における 90%不活化のための値

ND：データなし

表-5 下水処理水に対する塩素消毒、紫外線消毒及びオゾン消毒の特徴

	塩素消毒		紫外線消毒	オゾン消毒
	次亜塩溶液	固形塩素		
適応処理場規模	大, 中	小	中, 小	大, 中
設備の信頼性	良好	良好	ほぼ良	ほぼ良
運転制御方法	技術開発済	問題あり	技術開発中	技術開発中
システム構成	やや単純	単純	単純	複雑
危険薬品輸送	有	有	無	無
現場の安全管理	重要	中	小	中
殺菌性能	良好	良好	良好	良好
ウイルス不活性化性能	弱	弱	有	良好
魚類への毒性	有	有	無	考慮不要
有害な副生成物	有	有	無	考慮不要
残留消毒効果	有	有	無	無
必要接触時間	長	長	短	中
アンモニアとの反応	有	有	無	中性では無
色度除去効果	弱	弱	無	有
pH 依存性	有	有	無	中性では無
維持管理への依存性	小	小	中	大
腐食性	有	有	無	強

用の観点から有力な消毒手法である。しかしながら、消毒後の可視光線への暴露による光回復の問題や、消毒効果の残留性の問題もあるが、少なくともこれらの点を考慮しても下水処理水の放流水基準である大腸菌群数で 3000 個/ml を十分満足させることが出来る消毒技術である。ただし、塩素消毒の場合と同様にクリプトスポリジウム等の原虫の不活化にはあまり効果はない。

オゾン消毒は紫外線消毒の場合と同様に副生成物の問題はないとされているが、下水処理水に含まれる有機物質と反応しアルデヒド類等の生成が確認されている。また、亜硝酸性窒素や COD, SS が高い場合にはオゾンの消費量が多くなる。紫外線消毒と同様にウイルスの不活

化にも効果があり、さらに塩素消毒や紫外線では効果がなかった原虫の不活化も少しは期待できる。消毒効果の残留性はオゾンは水中で分解しやすいため紫外線と同様でない。したがって、下水処理水の再利用や受容水域の有効利用には紫外線消毒と同様に有効な消毒技術と考えられる。

まとめとして、表-4 に遊離塩素、クロラミン、二酸化塩素及びオゾンのそれぞれの消毒剤に対する各種微生物の Ct 値¹¹⁾を示し、表-5 に、塩素消毒、紫外線消毒、オゾン消毒の特徴を示す¹²⁾。

以上、現在考えられる下水処理水の消毒について簡単に述べたが、クリプトスポリジウムなどの原虫やウイル

スの不活化に対する消毒の効果はまだ明確な結果がでていない状態である。これはこれらの病原性微生物の検出と測定の高難さにも原因があり、この点についての研究の発展が望まれるところである。さらに、下水処理水が消毒された後再利用されたり、水環境への放流を通じて我々の社会生活の場に再び組み入れられる機会が益々多くなることを考えると、消毒後の下水処理水の公衆衛生的観点からの水質の評価と受容水域での水環境へのインパクトを評価できる管理システムの構築も今後検討していく必要がある。

(3) 都市域のノンポイント汚濁負荷の制御

a) 都市下水排除方式と雨水との関わり

汚水、雨水をふくめた都市下水排除方式には合流式と分流式がある。合流式下水道は、汚水の収集排除と浸水の解消が一つの管渠ではかれることから、下水道の本来的目的に対して即効性を有するものである。このため早くから下水道整備に着手した多くの大都市において採用されてきた。1970年の公害国会における下水道法の改正に伴い、下水道の役割に公共用水域の水質保全が加わった。さらに下水道の整備が進み点源対策がなされて河川などの水質改善が進むにつれ、合流式下水道からの雨天時越流問題は水質保全上無視できないものとなってきた。そのため新たに建設される下水道においては分流式の採用が原則となった。

このような状況のなかで、それまで採用されてきた合流式下水道について1970年代より建設省や大都市を中心に雨天時合流下水の水質に関する実態調査や汚濁負荷の予測などに関する調査研究が進められてきた。こうした調査から、雨天時には管渠内を含め排水区内に堆積していた負荷量が流出初期に集中的に掃流され、水質負荷量が急激に増加することが明らかになり、単純な希釈論では片付けられない問題であることが示された。また1971年末に出された環境庁通達により雨水吐、ポンプ場からの越流水についても水質汚濁防止法の排水基準が適用されることとなった。

日本下水道協会に設けられた合流式雨水対策調査専門委員会において越流水に起因する汚濁対策の検討が進められ、1982年には合流式下水道越流水対策と暫定指針がまとめられた¹³⁾。この指針では2mm/h以下の有効降雨強度のもとでは雨水吐から公共用水域へ雨天時下水を排水しないという基本的立場に立ち、雨水の滞留と貯留、浸透などのさまざまな改善策が示された。これによって雨水沈殿池、浸水対策と越流水対策をかねた大規模遮断

幹線の建設、浸透性舗装、浸透性の側溝やますなどの整備が行われている。削減目標として対象となる合流式下水道の排水区から排出される年間BOD放流負荷量を、仮に分流式下水道に置き換えた場合に排出される年間BOD放流負荷量と同程度以下にするという、いわゆる分流式下水道なみの目標を示している。

1994年に出された下水道施設計画・設計指針と解説においては合流式下水道からの雨天時放流負荷量の問題を単に、雨水吐及ポンプ場からの越流水問題にとどめることなく、総合的な水質保全対策の一環として検討していく必要があることが指摘された。また、身近な水辺空間に対する市民の意識や要望も変化しており、閉鎖性水域や水辺利用の盛んな地域においては地域の条件にあった削減目標をたてる必要がある。さらに越流水の水域への影響について体系的に調査された例は少ないようで、長期間にわたり雨天時越流水が放流されている水系での、生態系へ及ぼす影響などについての調査が必要である。

分流式下水道では合流式下水道にみられる雨天時下水の一部が越流する現象は基本的にはないことから、前述したように合流式下水道に代わって分流式下水道の整備が進められてきた。しかしながら誤接による汚水の雨水管への接続問題や、雨天時の汚水管への雨水侵入による下水処理場の過負荷問題なども報告されており、汚水と雨水の完全分離は現実には難しいところである。このような問題が放流先に与える影響については明らかでない。

また、都市においては、道路や屋根などの都市内の不浸透域に面源汚濁負荷の集積が著しい。これらは、降下煤塵物質や降雨に含有されている負荷、屋根や道路に堆積した負荷、側溝・雨水樹などの雨水排除系統に堆積した負荷、水路や河川に堆積した負荷などがある。都市内に蓄積された面源汚濁負荷は降雨をととも雨天時に流出し、降雨は都市を洗浄する役割を有している。下水道のなかでは汚水との対比において雨水はきれいなものとして取り扱われてきたが、都市化が進行するとともに雨水は都市の洗浄排水の性格をより有するようになってきており、雨天時に流出する面源汚濁負荷（特に有機物や栄養塩）の水域への影響は無視し得ないものとなっている。また降雨に関する面源汚濁の問題として酸性雨の観測される地域の拡大、農耕地等からの農薬の流出、自動車排ガスによるNO_x、SO_x、石油燃焼にともない発生し発癌性を有するとされるベンゾピレンの流出などの問題がある。

b) 雨天時汚濁負荷の制御の課題

雨天時に流出する面源汚濁負荷の制御は、閉鎖性海域

の流域に立地している高密度な都市化の進んでいる地域において重要である。一般にこれらの地域ではすでに下水道普及率は高く、高水準の点源汚濁対策、有機性汚濁対策が既に達成されている。しかしながら閉鎖性海域等での水質改善が停滞状況から脱しえないことは従来の点源有機物負荷を対象とした水質保全対策の限界を示すものである。今後は富栄養化対策としての栄養塩類除去は勿論のこと、総負荷量を制御していく必要性から雨天時流出汚濁負荷の影響を定量的に評価し、面源汚濁負荷の制御を含めた多様な汚濁源を制御対象としていく必要がある。また河川水質については晴天時の低水流量時というごく限られた条件のもとで評価がなされてきた。そのため、河川水質管理上考慮される汚濁負荷は晴天時の排出負荷に限定されてきた。しかし都市域においては降雨流出にともなう水域への汚濁負荷流出量は都市下水の排除方式の如何をとわず無視し得ない状況になっている。

したがって今後の水質管理計画には晴天時と雨天時の両面にわたる汚濁負荷の評価と制御が含まれる。言い替えると点源汚濁負荷と面源汚濁負荷の制御から成り立つべきである。しかしながら従来までの水質管理計画のなかでは、雨天時汚濁負荷制御にの必要性に関する定量的認識、雨天時汚濁負荷制御の意義、晴天時汚濁負荷制御に対する相対的位置づけは明確にされるに至っていない。今後、これらを明確にして行くためには次のような項目についての検討していくことが必要である。

(4) 都市内水域での直接浄化

我が国の水・土地利用形態は、扇状地や低平地で発達してきた都市空間、あるいは気候条件に対応して生産・効率性を追求してきた水田生産で特徴づけられる。したがって、都市内やその周辺部には多種多様な水域が存在している。このような都市内での水問題を水質面で見た場合、水質汚濁問題と水資源管理問題が重要となる。前者については、下水道などの水質制御型での対策が優先的となるが、後者は水質管理型の対策が必要となる。都市域の水質問題を解決するためには、処理対策と処理水質対策の観点から検討を加える必要がある。特に、下水道の整備が困難な地域や整備に至るまでの期間が長期に至る場合には、都市内水域での直接浄化対策を必要とする場合もあろう。

都市内での直接浄化とは、都市内に存在する水域で直接的に浄化を行うことである。浄化施設あるいは浄化手法（以後、単に直接浄化対策と略記する）は都市内の水域あるいはその周辺部に適用されることとなる。

都市内水域での直接浄化手法が単独施設として存在し得るのは、その水域の水質汚濁が極めて深刻な状況にあり水質改善を緊急に解決しなければならない場合か、あるいは、対象水域の水質が他の水利用（親水も含む）に僅少な影響しか与えない場合のいずれかであろう。このような特殊な場合を除いて、都市内での直接浄化対策を処理施設の代替として位置づけることは汚濁防止の面ですら合理性に欠ける。要は、適用可能な対策をどう使って、水をどう利用し、あるいは都市内の水環境や生態系とどう関わるかが重要な視点となる。したがって、都市内という特殊空間内部での浄化対策は、はじめに環境管理概念ありきで考える必要がある。

以上のことから、都市内水域での直接浄化手法は、都市内水域での自然浄化手法あるいは自然浄化機能の強化手法とも言えよう。自然浄化手法は水域である自然あるいは生態系を巧みに利用し、人為的な強化（関与）はできるだけ少なくすることが基本である。すなわち、水域での自然・生態系は質・量の多少にかかわらず存在しており、共存関係が一般的な前提条件となる。都市水域は都市に既に存在していることから、水質汚濁によってその存在意義が喪失しつつある場合には、何らかの手段によってその存在意義を回復させなければならない。直接浄化手法は下水道などと同様にその回復のための手段の一つである。また、親水機能や修景機能を有する高度処理レベルの処理水を供給できる直接浄化手法が適用可能な場合には、都市内水域の存在意義が従来のもより高まることとなる。このように、都市内水域と直接浄化対策を考える際には、互いの存在意義を相乗的に高めるような視点が必要であろう。その際、従来の下水道の整備目的とは異なる新しい視点が必要となり、流域住民の合意を得つつ水環境の管理目標を設定することが重要となる。この目標は、水量と水質のみで判断されるものではなく、自然・生態・環境まで含まれることとなり、水環境や自然環境との関わり方（治水、利水、親水、自然環境）が最終目標に組み込まれることとなろう。水質に関連する具体的な目標としては、「泳げる水質」、「魚釣りができる水質」などのように設定される場合もあれば、水質汚濁によって生態系が喪失しつつある水域では過去の生態系に近づけることが管理目標となる場合もあろう。このような目標志向型（Goal oriented）の管理目標が設定されると、水域の水質目標は管理目的に応じて弾力的に設定されることとなる。都市内水域での浄化施設についても同様であるが、身近に存在する施設（対策）であることから目標設定とその手段は慎重に進められな

ればならない。

(5) 微量汚染物質のモニタリング

a) 米国における毒性排出削減の実際¹⁴⁾

都市水環境の微量汚染（毒性）の問題は、その重要性が指摘されているにもかかわらず、現場の対応（下水処理施設等における）はほとんどなされていない。米国においては環境保護庁の下で毒性削減プログラムが動いており、毒性物質排出削減に実際の対応がとられている。ここでは、米国の実際の下水処理施設における毒性削減手法について解説し、次に研究レベルの問題点を述べる。

毒性排出の削減では、はじめに処理水の毒性をバイオアッセイによって評価する。微量汚染の毒性の問題は、環境毒性（生態系毒性）及び人体影響の2つの側面から議論されなければならないが、米国における現在の対応は環境毒性に主眼が置かれており、水棲生物に対する急性毒性試験が行われる。

次に毒性物質の性質を見極めるために、処理水を様々な処理（曝気、pH調整、逆相カラムへの通水等）して、毒性削減効果を再びバイオアッセイで評価する。例えば、曝気によって毒性の削減効果がみられた場合は、その毒性物質が揮発性であったか、あるいは酸化分解されたかのいずれかである。pH調整で毒性削減がみられる場合は重金属等の汚染が考えられる。逆相カラムへの通水で毒性削減がみられる場合は、疎水性の有機化合物が考えられる。このようにして、毒性の特性を把握し、毒性削減に最適な運転条件を検討する。通常、このような運転条件の変更だけでかなりの毒性を削減できる場合が多い。

b) 今後対応すべき毒性について

前述したように微量汚染の毒性の問題は、環境毒性（生態系毒性）及び人体影響の2つの側面から議論されなければならない。研究レベルでは下水処理水中の微量汚染による人体影響に対する懸念がもたれている。人体に対する曝露経路としては魚介類の摂取による経路や、淀川水系の例にみられるような水道水による経路が考えられる。具体的には、発癌性や変異原性といった慢性毒性に関する関心が強い。都市下水処理水にはDNA損傷性物質や変異原性物質が含まれており、河川に対するこれらの毒性の主要な供給源である。これらの微量汚染による人体への影響は、現在のところ未知である。しかしながら、DNA損傷性や変異原性の削減の問題は、近い将来、下水道管理の大きな課題となると考えられ、今から対応してゆく必要がある。幸い日本においてはこの分野の研究は比較的進んでおり、枯草菌 Rec-assay のような DNA

損傷性の優れた評価法も存在する¹⁵⁾。日本の下水処理施設においてDNA損傷性や変異原性の削減事例を積み重ねることは現実的であり、また世界的に先駆的な試みとして評価されるであろう。

米国の下水処理施設の毒性削減プログラムにおいては、最近ではより厳しい毒性排出削減を求めて、個体の死を指標とする急性、慢性の致死毒性の他に、催奇形性、形態変化、神経毒性、生殖毒性等の様々な毒性が議論されている。特に近年、エストロゲン（女性ホルモン）様物質（わが国では、「環境ホルモン」という名称が用いられているが、必ずしも科学的な名称ではない）が問題とされる¹⁶⁾。生体中のエストロゲン受容体は、エストロゲンのみならず、ダイオキシンやPCBをはじめとする様々な物質と親和性を持つため、これら環境汚染物質が生物のエストロゲン受容体と結合し、生物影響を引き起こし、水棲生物の生殖能力に影響を与えている可能性が指摘されている。下水処理水中にはエストロゲン様作用を持つ物質多数存在しており、このような毒性削減が要求される可能性がある。

5. おわりに

都市水環境の保全・再生のために下水道が何をなすべきか、3年間に亘って行った議論のまとめを紹介した。本文中にいくども触れられていたように、水環境の保全の重要性は市民レベルではある程度のコンセンサスが得られていると考えられる。しかしながら、具体的な内容、建設費用の負担方法、維持管理費の負担方法、事業主体、管理主体等々という現実の世界、すなわち行政レベルに落としてみると、まだまだ多くの課題がある。

最後に、本報告には触れていないが、委員会の場では、都市水環境の保全・再生が行政間の権限争いの対象にならないようすることが重要であり、そのための情報公開、情報説明などが急務であるという意見は多かった。

（文責：中村栄一，吉澤正宏）

参考文献

- 1) 土木学会：都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査，建設省都市局下水道部，1997。
- 2) 虫明巧臣：都市の水循環システムにおける「エコ」的側面，土木学会誌増刊，Vol.77-9，1992。
- 3) 石崎勝義，橋本健，長谷川正：土地利用の変化に伴う流出機構に関する調査，建設省土木研究所，1976。
- 4) WEF: A National Water Agenda for the 21st Century (Water Quality 2000 Final Report), 1992.
- 5) 虫明巧臣，吉野文夫，石崎勝義，山口高志：水環境の保全と再生，山海堂，1981。

- 6) 建設省都市局下水道部(監修):平成8年日本の下水道,1997.
- 7) 塩路勝久,他:明日の下水道技術開発を読む20のポイント,月刊下水道,Vol.19, No.4, 1996.
- 8) 宗宮 功:都市水環境の新たな創造と下水道の役割-処理水の再利用-,平成8年度下水道協会年次講演会,特別講演要旨集,1996.
- 9) 楠田哲也:都市水環境の保全・再生の社会的評価,都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査報告,土木学会,1997.
- 10) 花木啓介:都市水環境の保全・再生における総合的視点,都市水環境の保全・再生と下水道の役割に関する調査報告,土木学会,1997.
- 11) 水環境学会「水中の健康関連微生物」委員会:水中の健康関連微生物シンポジウム講演集,1995.
- 12) 大垣真一郎:下水処理水の消毒,水質汚濁研究,Vol.11, No.5, 1988.
- 13) 日本下水道協会:合流式下水道雨天時越流水対策暫定指針と解説,1982.
- 14) デービス L.フォード編 松井三郎,井手慎司監訳,環境毒性削減:評価と制御(生物多様性のための地球環境技術),環境技術研究協会,1996.
- 15) Mutsui, S.,Semba, N., Matsuda, T. and Yamada, H.: A new index rec-volume for the evaluation of DNA toxic pollution in the water environment, *Wat.Sci.Tech.*, Vol. 25, 301-308, 1992.
- 16) Theo Colborn, Dianne Dumanoski and John P. Myers: "Our Stolen Future", DUTTON, 1996.

(1999. 10. 8 受付)