

土木技術者の使命——とくに琵琶湖・淀川水系の水資源・水質汚濁を例として——

岩 井 重 久\*

1. はしがき

水資源が水量だけで論じられていた時代はおわり、いまや水質的な再検討が世界的に必要とされている。わが国では昭和 60 年に人口として 1900 万人分、その年間総水量で 37.5 億 t もの水が不足するといわれている。降雨量が多いが、これは台風や梅雨のときに一度に海へ流出してしまい、かといってダム地点も少なくなったわが国では、水質汚濁によって追打ちをかけられ、現在の水資源でさえもその使用が危ぶまれているのが現状である。8 兆円をかけて新 5 箇年下水道事業計画を完全に実施しても、下水道受益人口の総人口に対する比率が現在の 18.7% から 50% まで上昇するだけであり、産業廃水までを考えると前途はほど遠い。こうした生活環境上の水質汚濁のほかに、人間の健康に障害を与えるような有害物質による水質汚染が、とくに食物環を通じて悲惨な事例を生じさせているのがわが国の現況である。いま表記の副題を例として解説を試みながら筆者の私見を述べ、その対策に言及し、最終的には主題である「土木技術者の使命」に関し、考えているところを述べることにしたい。

2. 水質汚濁防止対策に関する見解

この対策を段階を追って説明すると次のようになる。

(1) 汚濁源での汚濁物質の発生や排出を減少させる。すなわち、工場であれば原料や工程を改良し、また排水中の有用物質を回収して排水の質を向上させ、こうした処理後の排水自体を冷却水などとして再利用し、工場外への排水量を減らす。下水の発生源については、妥当な都市計画・地域計画・流域下水道計画を先行させることによって対処していかなければならないが、これは工業地帯についても同様である。

(2) こうした努力のあとで、どうしても放流されるような下・廃水については、次に述べるような放流先水域の環境容量以下にみあうような水質・水量とするためにすぐれた処理施設を設け、これをうまく運転させなけ

ればならない。下水と工場廃水とを混ぜて処理するか、別個に処理するかについては慎重に検討しなければならない。下水処理の場合、最初に行う沈殿を第一次処理、その次に活性汚泥法や散水汙床法などの生物処理を加えたあとで沈殿させることを第二次処理という。現行ではここまでで塩素消毒ののち放流しているが、さらに第三次処理を追加して放流水質を向上させたり、放流せずに再生利用する必要が生じている。しかし、こうした第一、二、三次処理の継足しではなく、はじめから良質な処理水を得ようとすれば、別にもっと合理的な方法があるはずであり、こうした処理を高度廃水処理 (A.W.T.) という。このような処理の高次化・高度化に伴い、汚泥の脱水による脱離液、ケーキの焼却による廃ガスや残灰の処理は、これらによる二次、三次の公害を防止するためにぜひ行わなければならない。

(3) 最後の方策としては環境容量の人工的拡大がある。たとえば、有機性汚濁物質は好気性菌の作用により公共水中で分解されるが、そのためには大気からも補給される水中溶存酸素が必要となる。こうした自浄作用を盛んにするためには、水面からの酸素吸収効果が高くなるように、水路を浅くし、その流速を早くしてやればよい。ところが、そうすれば水中の浮遊物質は沈殿しにくくなり、沈殿による浄化作用は減る。逆に流速を遅くすれば沈殿しやすく、水自体はきれいになるが、逆に底質は蓄積されていき、ついには水に対しても二次汚濁を与えるようになる。このように、プラスになる自浄作用からマイナスになる蓄積作用などを差引いたとき、その環境へある汚濁物質をどれだけ放出してもさしつかえないか、逆にいえばその環境が当該汚濁物質を受けいれうるネットの容量を定量的に表現した値を環境容量という。たとえば、希釈拡散が有利になるように放流施設を改良すれば、汚濁物質濃度についてのみかけの環境容量は拡大されうるが、重さ割る時間の単位を持つ汚濁物質負荷量についての環境容量を、人工的に増大させることは困難な場合が多い。また、内海の環境容量を拡大しようとして外海水を人工水路によって導入すると、濃度は薄くなっても生態学的な変化が生じ、水産業に打撃を与えることも生じうる。ここで、上述の (1)、(2)、(3) を通覧するような例を考えてみよう。

\* 正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学科

(a) 淡水湖沼ではそこへの流入水に含まれるチッ素とリンが主原因となり、湖沼水が富栄養化されて藻類の異常発生をきたし、魚種が変化して漁業に被害を与えたり、これを水道原水とするときは砂汙過床をはやく閉塞させて浄水費を高めたり、上水に異臭を与えたり、少なくとも湖沼水の濁りを増して風景を損うことが多く、また内海におけるこうした富栄養化は赤潮の原因となり、漁業に大きい被害を与える。

上述の第二次処理までではチッ素やリンは十分に除去できないので、たとえば、これらに関する環境基準をゆるめるといった環境容量の消極的拡大をはかって富栄養化の傾向を放任してしまうか、こうした排水を流域外へ排出してしまう以外に方法はない。ところが、流域外への常時排出は湖沼の過水増加能力を減殺させることが多いし、新たな放流先水域で水質汚濁の問題を生じさせることになる。こうした(3)の方法が使えなければ、(2)の範囲内でチッ素やリンに関するきびしい放流基準値をみとすように、第三次処理や高度処理を採用することにより、解決をはからなければならない。

(b) ある淡水域の水質が悪化し、そこを上水道の水源地として利用している現状が危険となることがある。そこで、① 比較的量の少ない飲料用等の上水道は、別のきれいな水源からとることにし、もう1本だけ別系統の水道をつくれれば二元配水となるが、現有の水道は工業用水道または雑用(中)水道として活用できる。あるいはもしその淡水域より上流での下・廃水処理が第二次処理までであるために、上記のような危険状態が生じるのであれば、② 上流の処理施設に第三次処理を付加してのち放流すればよい。しかし、その処理水を工業用水や雑用水として再利用するのであれば、第二次処理までの処理水を、たとえば河床に新設するふた付き暗渠によって下流に流送し、その末端に設けた第三次または高度な処理施設によって再生利用すれば、下流の現存水道の水源汚濁は防ぐことができる。ところが自然河川では、維持用水として、ある程度以上の流量は常に保持させなければならないので、こうした人工水路により多量の水を別に流下させることには慎重な検討を加えたほうがよい。水量だけを考えるならば、(3)の方針に基づいて上流にダムを設け、貯水池によって流量を調節し過水増加をはかればよいが、水質の濃度と負荷量とをともに考える場合は、どうしても(2)の方針に基づいた下・廃水の処理が必要となる。

### 3. 琵琶湖・淀川水系の場合

#### (1) 特性

それぞれほぼ 3800 km<sup>2</sup> と 680 km<sup>2</sup> との流域と湖面

とを持つ琵琶湖は、約 275 億 t の水をたたえているが、その北湖は大きく深く、南湖は狭く浅い。京都市疎水と宇治発電所との両取水口、瀬田川へ流出させる南郷の洗堰の3か所から1年間に放出する総水量は約 52 億 t である。また、流域面積比では、南郷での琵琶湖の流域を 53% として、下流枚方までの瀬田川・宇治川の山城盆地流域は 17.8%、枚方直上流で合流する木津川、桂川の流域はそれぞれ 20%、9.2%で、枚方で合計 100% の流域面積となり、そこでの年間平均流量は約 320 m<sup>3</sup>/sec であり、これはさらに約 40 km を流下し、新淀川を経て大阪湾に流入されるが、その一部は、堂島川や寝屋川、神崎川に分派され、大阪市内を流れることになる。枚方で流量の 70~75% は琵琶湖からの流出量に依存しているが、これは降雨時のため、その分を過水時に放流するという琵琶湖の流量調節作用が役立っているからである。しかし、こうした調節作用を過度に行なわせると、湖岸が浸水したり、ひあがる等の被害を受け、逆にこれらを防止しようとする、下流の治水や利水に支障を生じるので、滋賀県と下流の府県との利害は必ずしも一致しない。

#### (2) 水利用

琵琶湖自体は、① アユをはじめとし、魚介類、とくに淡水真珠などの漁業や養殖による水産上、② 船航、遊泳等の観光上、③ 滋賀全県下の水田の 1/4 を湖水でかんがいするという農業上、④ さらには全県下の水道水の 60% を供給し、その他の工業用水道にも毎日 60 万 t 以上を供給するという利水上最大限近くまで利用されている。加えて京都市の水道水の大部分を疎水を通じて供給し、宇治発電所や天ヶ瀬貯水池による天ヶ瀬発電所、喜撰山揚水式発電所で利用されるほか、この貯水池水は京都府営水道に供給されている。水産・観光上や、直接的または伏流水としての間接的に各種の水道水やかんがい用水として利用される木津川、桂川の二支川のほか、とくに三川合流点から下流での淀川本流水は、かんがい用以外にも、枚方市、大阪府・市、阪神水道企業団などによる上水道や工業用水道のために、大阪市内河川からの分を含めて約 20 か所の取水施設により総計で約 200 m<sup>3</sup>/sec も取水されている。しかも、将来における人口の自然増や産業の発展を考えると、淀川水系河川の維持用水以外に、各種の用途に応じた水需要はますます増大する傾向にある。そこで琵琶湖全湖の水位を最大で 1.5 m だけ低下させることを許し、それだけ増大した琵琶湖の有効貯水容量をもってうまく瀬田川への放流量を調節し、平均的に 40 m<sup>3</sup>/sec だけその放流量を増加させて下流の水需要に答えようとするのが、昨年度に制定された「琵琶湖総合開発特別措置法」に基づく湖水位低下計画である。

ところが、下流の水需要では水道水としての利用が圧倒的に多く、水量だけでなく水質上の要求がきびしく、また、中流でいったん利用した水は必ず汚されて放流されるし、そうでなくても生活環境上・健康障害上悪化の一途をたどっているのが、この水系の水の現状である。

### (3) 水質汚濁

本格的な水質汚濁調査はわが国最初の試みとして、筆者の研究室が指導し、この水系において昭和30年から実施され、昭和33年に淀川水質汚濁防止連絡協議会が近畿地建の主唱のもとに結成され、現在でもこの調査は続行されている。また、昭和44年度から「琵琶湖の将来水質に関する調査」が建設省から土木学会に委託され、筆者を委員長とする小委員会が組織され、主として富栄養化現象を対象として現在でも調査が続行されている。約8年前に筆者らが行った淀川本流についての将来水質の予測では、それ以前の実測記録、人口増、工業出荷額と原単位、下・廃水処理の進展、自浄作用等々の諸因子を用いて推定を進めた。後日、この予測手法は、全国的に各地で採用された。淀川水質予測の結果をいまになって再検討してみると、たとえばBODにつき枚方左岸では昭和34年の2.12ppmが、下・廃水処理の進展により、昭和45年では1.86ppmとなると予想されたのに、実際には昭和36~38年で3.1ppm、昭和45~47年では3.4ppmと予想外に上昇をみたこと、しかし、京都市下水道整備の関係で桂川や枚方右岸のBOD濃度は10年前に比べて半減したことがわかった。しかし、支流域の人口増や、大阪市内河川汚濁対策の遅れによって、必ずとも楽観はゆるされない。

琵琶湖についても、滋賀県の審議会の委員会の世話をした関係で同様の将来予測をしたことがある。三井寺沖のBODは、昭和36~38年の1.3ppmが昭和45~47年では2.0ppmと漸増し、とくに南湖では著しく、局所的には憂うべき汚濁が生じていることがわかった。

とくに、前記の富栄養化現象に関する調査結果から、下・廃水以外にも肥料等がチッ素の、また洗剤等がリンの汚染源となっており、現在富栄養化が進行中である。汚染源から琵琶湖へ到達するまでに、植物、土壌、河川等で摂取・吸着等の作用を受けて除かれたあとの、正味の流達率を実験・実測・調査するのに時日を要するため、いまだに結論が出ていないが、富栄養化対策を実施しないかぎり、昭和60年では全チッ素は8700kg/day(昭和43年の16%増)、全リンは540~670kg/day(同約23%増)だけ琵琶湖に流入し、完全に富栄養化するであろうと推測された。また、最近われわれが流出・入河川流量等を参考として試算した結果、現在の琵琶湖での蓄積速度は、全チッ素で1.300t/day、全リンで0.022

t/dayとなった。

ただちに流掃される河川とは異なり、湖沼や貯水池での、とくに健康に対して有害なメチル水銀、カドミウム、PCB、フェノール、アンチモン等の蓄積は底質に現われ、食物環を通して障害をおすが、こうした危機が琵琶湖においても高まりつつある。また、淀川沿岸の工場廃水からの種々の有害物質による汚染も、やはり完全には防止されていないのである。

## 4. 琵琶湖・淀川水系における水質汚濁対策

過去における琵琶湖の貯水・流量調節作用のために下流の流量は平均化され、これが水資源として利用されたので今日の京阪神の発展をみたのであるが、その恩恵に甘えず、水の量的・質的な保全策を先行的に実施しなかったために、当面するような緊急事態に至ったといえる。このうち、量的な対策としては前述の湖水位低下計画が実施されようとしており、また質的な面でも2.で述べたような一般の対策は、とくに新5箇年下水道事業計画、工場廃水処理、し尿処理の計画などの形をとって優先的に進められている。以下に、質的対策として最近着目されている2つの計画案を紹介しよう。

### (1) 琵琶湖水の富栄養化防止

10年間で4300億円の予算が予定されている「琵琶湖総合開発」では、そのうちの約590億円が琵琶湖周辺の下水道および第二次処理までの数箇所の下水処理場の建設費にあてられる予定である。ところが、3.で述べたように、琵琶湖水の富栄養化には抜本的な緊急対策が必要とされ、また2.(a)で述べたように、第二次処理までではチッ素やリンは十分に除去できないので、ここに第三次処理を付加するか、高濃度処理を実施するかのいずれかが必要となる。もちろん富栄養化の原因については諸説があり、チッ素やリンだけではなく、他の水質項目も大いに関係するといわれる。しかし、チッ素やリンを除去した放流水を貯水しても、富栄養化を生じないでいることが、すでに実際の処理施設によって実証されている。第三次処理方式としては、石灰沈殿、アンモニウムトリッピング、活性炭吸着などが凝集沈殿や砂り過とともに有効な単位操作となり、これらを組み合わせたシステムを最適化していけばよいのであるが、このほかにも逆浸透や電気透析を利用した高度処理的なシステムも考えられる。第三次処理の実施例は主としてアメリカ合衆国に多く、すでに100例を越えている。したがって、わが国で基礎研究から出発する必要性はあまり認められないが、設置予定地での、実際下水あるいは人工下水を使ったパイロットプラント実験は不可欠であると考えられる。ま

た、これによる放流先水域の富栄養化防止の程度を、実験的に評価することができる。下水道自体の普及率の低いわが国で、第三次処理や高度処理はぜひたくであると考えるはもっともであるが、約1000万人の飲料水源となっていることから、琵琶湖についてはぜひ必要であると信じ、その予算措置等はぜひ実現されなければならないと考える。われわれは世界中の笑いにされたり、われわれの子孫に悔を残すようになってはならない。しかし、肥料中のチッ素を対象としてかんがい排水までを処理するのは経費がかさむので、こうした排水は酸化池化した内湖等にためたのち、循環してかんがいに使用すればよい。

## (2) 淀川水質保全水路

2.(b)で述べた方針に基づき、京都市などの上流域からの第二次処理までを済ませた放流水を流下させるために、淀川の河川敷にふた付き導水渠を設けて、これを淀川水質保全水路と名づけようとする計画がある。これによって下流各所の水道水源の水質が保全されるとともにこの保全水路の末端に設けた第三次（または第ゼロ次）処理施設によって、保全水路水を雑用水や工場用水等に再生利用することになっている。ある程度の基本計画はできているようであるが、再生水の用途によってその要求水質が変わり、したがって、前述の種々の単位操作のどれとどれとを組み合わせるかが変わってくるので、その詳細は今後の検討に待たなければならないと思われる。上記の(1)と(2)とは必ずしも相反するものではなく、異なった目的を持っているが、水処理の技術としてはかなり類似した方法が適用されるものと思われる。しかし、瀬戸内海の水の富栄養化防止のために、(1)を琵琶湖周辺だけにとどめず、瀬戸内海周辺の下・廃水はすべて第三次処理を施すということは、理想的ではあっても緊急に実現させなければならないかどうかは、慎重に検討されなければならない。また、(2)の方針を拡大して、琵琶湖周辺の下・廃水の第二次処理後の水はすべて別水路で流下せせるとするならば、琵琶湖の汚濁は軽減できるであろうが、琵琶湖による自浄作用は利用できず、また渇水期でも常に別水路を通して一定水量が流出されるために、琵琶湖自体の貯水・調節能力が損われ、水量的な支障が生じることも考えられるので、これも慎重に検討されなければならないと考える。

このように、水資源の水量上と水質上との問題は微妙にからみ合ってくる。水質汚濁面からみれば、生活環境に支障を及ぼすこと以外に、人の健康に障害を与える事態をも重視しなければならない。この両者は相互に関連するものであるが、とくに後者については、工場からの廃水や廃棄物に由来する各種の有害物質が、直接的に飲

料水を通じ、あるいは間接的に食物環を経て人の健康に悪影響を与えることに注目しなければならない。また、これは下・廃水の再生利用とも関連する。これを防止するためには、工場立地の適正化、指導・監視体制の強化のほか、関係法令の改正、たとえば現在の水質汚濁防止法と下水道法との間の空隙の補填を行わなければならない。すなわち、こうした有害物質を含む工場廃水をそのまま下水道に受け入れると、下水処理に支障を生じることがあり、かりに支障が生じなくても、有害物質は処理後の汚泥に濃縮され、その処分に困ることになりやすい。現在の下水道法では、受け入れる工場廃水の質については、有害物質に関しては国の一律排水基準が適用され、上乘せができないことになっている。汚濁原因者費用負担の原則(P.P.P.)からすれば、工場廃水はそれぞれの工場で完全に処理させ、下水道に受け入れないという方針は一応筋がとおっている。しかし、下水と工場廃水との合併処理が合理的となる場合もあるので、健康に対する有害物質は厳重に規制したのち、ある程度は無害な工場廃水を下水道に収容し、そのかわりに水量・水質の両面をこめた建設費の分担金と維持用の料金とを徴収することにより、P.P.P.の原則をみたくようにする。工場廃水の受入れを拒否することは下水道側には有利であるが、そのために工場での不法放流がおこり、実害が生じる場合も考えられる。監視体制にしても、もし、多数の工場からの廃水を逐一採水分析し、監視していくのであれば、監督官公庁にはきわめて多数の専門家が必要となり、その人件費は一般の税金からまかなわれるので、間接的にP.P.P.の原則が破られることになる。下水道の場合は、下水道の管理者が、工場からの料金をもとにしてこうした監視を実施することができるので、この面でのP.P.P.の原則は守られやすいという利点もある。このように利点と欠点とを慎重に考慮したうえで、最終的な計画に移す必要があると考える。上述の一般論は、とくに琵琶湖・淀川水系において基礎的に考究されなければならない。

## 5. 土木技術者の使命

上述の例から多くのことが汲みとられると思う。環境汚濁(公害)については、国連をはじめ多くの国が大きい関心を示しており、わが国では緊急事態を示すようになってきた。水資源問題が水量だけではなく水質的に論じられなければならない理由もそこにある。公害のはんらんと資源の蚕食とは、表裏の関係にある。水量的だけではなく、水質的な水資源の開発が最も要望されているのがわが国の現状である。

公共のための奉仕精神を培われ、大きい総合力、広い

視野、深い考察力、強い実行力を備えているのが土木技術者の特質であるから、たとえば下・廃水の第三次処理や高度処理で、物理、化学、生物学の特殊な基礎知識が要求されることがあっても、それを乗り越えるような努力をもってこうした問題の解決にあたっていただきたいと思う。欧米の例をみても、こうした分野で専念する衛生工学関係の人びとには、土木工学をバックグラウンドとした者が多い。そして、水資源に関連する水質汚濁だけではなく、大気汚染、振動、騒音、悪臭等々の多くの公害問題に関心を持っていただき、その解決のために貢献することが土木技術者の使命であると思うのである。

#### 参考文献

- 1) 岩井重久：琵琶湖の開発と水資源、用水と廃水、Vol. 18, No. 3, pp. 52~61, 昭和41年。
- 2) 岩井重久、ほか：淀川の将来水質、下水道協会誌、No. 25, pp. 26~35, 昭和41年。
- 3) 岩井重久：淀川水系の水質保全について、土木学会誌、Vol. 48, No. 7, pp. 42~48, 昭和38年。
- 4) 土木学会：琵琶湖の将来水質に関する調査報告書、昭和44, 45, 46の各年度版。
- 5) 淀川水質汚濁防止連絡協議会（近畿地建内）：淀川水質汚濁調査報告、昭和46年12月版、その他のバックナンバー。
- 6) 岩井重久：国連アジア極東経済委員会（ECAFE）の水資源開発に関する地域的会議の報告、環境技術、Vol. 2, No. 7, pp. 34~38, 昭和48年。

土木計画学研究委員会編・第6回土木計画学講習会テキスト ● 1700円 会員特価 1500円 (〒 140)

## 施工の計画・管理に対する科学的接近 B5・170 上製

● 施工の計画・管理における情報処理の問題／情報工学、情報処理機器、情報処理用語、情報処理方法（東洋大学 中村慶一）● 施工の計画・管理における品質の問題／品質管理とは、品質の測定値、管理手法、管理の補助手段、品質管理の実態、検査（建設省 成田久夫）● 施工の計画・管理における安全の問題／労働災害防止の基本的事項、計画における安全の問題、管理における安全の問題、安全管理の総合的な実施（労働省 加来利一）● 施工の計画・管理における工程の問題／工程管理のあり方、工程管理のシステムの問題、手法、問題の整理（東海大学 宮内敬保・首都公団 宇津橋昭八郎）● 施工の計画・管理における原価の問題／土木工事のシステムと工事費、計画的工事費の計算、土木工事における施工計画と積算、土木工事の積算と施工計画例（建設省 本山 莚）● 施工の計画・管理における積算・見積りの問題／予定価格の性格、積算における施工計画の特色、施工計画立案に必要な調査、施工計画、工事発注と施工計画（国鉄 岡田 宏・末平 治）

## 工学基礎 流体の力学

安藤常世（慶応義塾大学教授 工博）著 ￥1100／最新刊

工学基礎教育として必修の科目である流体の力学全般について、（機械）工学的立場から、学生や技術者のためにきわめてわかりやすく説いた入門の教科書である。例題、演習問題に良い問題を多数のせ、使いやすくなっている。

## 固体の力学シリーズ

固体の力学各分野第一線の学者が各専門とするテーマを簡潔にまとめ上げた本格的な内容プラス我国最適者による読み易く信頼できる訳であり、また関連分野学生・研究者の絶好の参考書である。

1 粘弾性学 W. フリュエゲ著／堀 幸夫訳 ￥1600

2 熱弾性 H. パーカス著／瀧美 光訳 ￥1300

3 構造安定の原理 H. ツイーグラー著  
砂川 恵訳 ￥1700

4 構造物のクリープ解析 J. フルト著  
村上澄男訳 ￥1500

5 弾性平板 K. マルゲール他著／玉手 統訳 ￥2200

6 非線形動的弾性学 D.R. ブランド著  
大橋義夫他訳 ￥1250

TEL (03) 262-5256

千代田区九段南4-3-12

培風館