水源の水質汚濁に対する水道事業体の取り組み*

—— 大阪市水道局の例 ——

吉 竹 俊 治 梶 野 勝 司

はじめに

淀川は、京阪神1,000万人の人々の水道水源となっている。上中流域には大都市が接続し、その排水のほとんどが淀川に還元され、その下流で水道水源として利用されるという、わが国では特異なくり返し利用型水系といえる。

したがって、明治28年大阪市が淀川を水源として近代水道を創設して以来、浄水処理方式の選定には多くの水質調査と処理実験が実施されてきた。

大阪市水道90年の歴史をみると、水道水の安全を確保する方式を3つの時代に区分できる。創設当初からおよそ30年間は、砂濾過のみで安全を確保しえた時代、それに続く昭和のはじめから約30年間は、砂濾過に加えて塩素消毒をして安全を確保した時代である。すなわち、これまでの期間は微生物汚染に主眼がおかれていた。最近の約30年間は塩素を消毒剤としてのみでなく、浄水処理薬剤としても利用し、不連続点塩素処理によって、安全の確保に努力してきた。

そして現在、琵琶湖で発生するカビ臭に対する市民

の不快感と不安感、トリハロメタンをはじめとする微量物質に対する不安感から「おいしい水」の要求が強くなってきている。水道事業者は水源水質保全のあり方と水道における高度処理のあり方等、次の時代の水道システムを模索しているところである。

本論は、不連続点塩素処理を採用して安全性を確保した頃からの淀川水質の状況と、現在大阪市が取り組んでいる水道水の安全性確保に関する調査研究の概要を紹介するものである。

1. 淀川の水質汚濁の状況と浄水処理

1.1 有機的汚濁と浄水処理

淀川は、沿川流域内の人口増によってその水質は汚濁化の傾向を辿ってきたが、昭和20年の終戦時には一時的に水質は回復した。しかし、人々が都市にもどり生産活動をはじめると共に、汚濁の傾向を示しはじめた。戦後最初に浄水処理を困難にしたのは、降雨後の高濁度であった。これは荒廃した山河によるものであり、植林、ダム建設等の整備が進むにつれて解決されてきた。

昭和30年頃からの経済成長期には排水処理設備、下水道が未整備、諸産業の成長、都市への人口集中、農業の近代化に伴うふん尿の河川への排水等がみられ、淀川の汚濁はすさまじい勢いで進行した。

淀川の下流、柴島取水点のBODとアンモニア性窒素の経年変化図（図1）にこのことが良く示されている。

これらの汚濁物質は河川水中の溶存酸素を消費し、

Toshiharu Yoshitake

昭和36年 北海道大学工学部卒業
同年 大阪市水道局柴島浄水場
58年 同水質試験所調査主幹
61年 同水質試験所所長
技術士（水道部門）
〔趣味〕 ゴルフ 生花

Masashi Kajino

昭和33年 大阪市水道局水質試験所
39年 近畿大学卒業
55年 大阪市水道局工務部水質試験所主査
工学博士 技術士
〔趣味〕 テニス 卓球 旅行

図1 柴島浄水場原水水質の経年変化

* Counter Measures of Water Works against the Source Water Pollution, 昭和61年5月27日受理

図2 淀川柴島地点の温水時におけるBODとアンモニア性窒素

河川を嫌気状態にする。このような所に降雨があると汚濁物質を一気に押し流し、堆積した底泥をもまき上げ、広範囲に無酸素状態を作り出し、魚がへい死浮上する現象が生ずる。昭和33年6月には淀川本流でこのような現象がみられたのである。大阪市柴島浄水場では、魚のへい死が無酸素状態によるものであり、毒物によるものでないことを確認するまで、取水を停止せざるを得なかった¹⁾。このような有機的汚濁物質による黒濁り現象は、晴天が続いた後の降雨の度に経験することとなった。

著しい汚濁が進行していた昭和37年、淀川は温水に見舞われた。温水時の淀川水質を比較すると図2のようである。淀川での流量減少が水質に大きく影響するのである²⁾。

当時大阪市は、緩速濾過と急速濾過の2つの方式で浄水処理をしていた。緩速濾過は水中の夾雑物の増加により目詰まりが早く、その維持作業に困難をきわめ、すでに常時硫酸アルミニウムを使用していた。そして、原水のBODの増大、アンモニア性窒素の増大、溶存酸素不足という事態に至っては、アンモニアを硝化しきれないのみでなく、マンガンイオンの漏出が起こった。

一方急速濾過方式では、アンモニアの硝化はできないので、残留塩素は結合形となっていた。この両方式が季節によってそれぞれ処理効率が異なり、給水するときの残留塩素は遊離形となったり、結合形になったりしたので、両系統の水が混合する市内区域では残留塩素が零になることもあった。また結合形の残留塩素では、異臭(土臭、下水臭)を感じるなどの苦情が出たりした³⁾。

このため、緩速濾過については、曝気設備を設ける等の実験をした結果と、将来にわたって安定的に濾過砂を入手できる用途もないことも考慮して廃止することとし、急速濾過については、不連続点前塩素処理を

採用したのである^{4),5)}。

1.2 淀川における水質異変例

中性洗剤の泡立ち、PCBによる汚染等、これまでとちがった新しい汚染物質の測定や水源監視が必要になってきた。淀川では大事に至る事故はなかったが、有機的汚濁による降雨時の黒濁り現象以外にも水質異変が起こるようになってきた。

(1) フェノール汚染事故

昭和32年3月市民から異臭味の申告があり、調査の結果、原水中に混入したフェノールが塩素と反応して生成したクロロフェノールによるものと考えられた。淀川原水にフェノールが $24\sim42\mu\text{g}/\text{l}$ あり、その排出源は工場排水によるものと考えて、上流の工場排水の水質調査を実施し、いくつかの工場がフェノール汚染源と判明したので、関係機関を通じて指導をお願いした¹⁾。

水道事業者にとっては、全く法的権限のおよばないところではあるが、大阪市水道局では水道水源を守る立場から、現在でも淀川へ直接放流する8工場について工場側の協力を得て、定期的に排水の水質試験を実施している。

(2) シクロヘキシルアミン系物質による異臭

昭和43年3月から44年11月にかけて、9回にわたり強い刺激臭が浄水に感じられた。この異臭が塩素との反応で生ずることは確認できたが、原因者を特定できなかった。約1年後に原因工場をつきとめることができ、関係機関から指導をお願いした⁶⁾。

(3) 産業廃棄物投棄地からの廃油流出事故

昭和46年5月、降雨により枚方市内の産業廃棄物投棄地から廃油が流出し、農業用水路、小河川を経て淀川に流出した。枚方市と関係水道事業者は協力して築堤工事をする等流出をくい止めた⁷⁾。降雨時、原因者不明の油の流下は、この時期しばしばみられたのである。

(4) その他

シアン流出事故、農薬流出等の事故もあったが、関係者の協力により大事には至っていない。しかし、不法投棄も含めてこうした水質異変の危険性があり、各浄水場では魚の飼育槽を用意して毒物の検知を図っている。大阪市では、魚が死に至る前の段階、毒物の低濃度領域で、魚の生理的变化を電気信号としてとらえる魚による原水監視装置を考案した⁸⁾。実用化には至っていないが、周辺装置の技術的開発状況をみながら実用化を目指したい。

年度別水質異変発生状況は表1に示すとおりで、最近減少してきている。これは法的規制、あるいは排水処理施設が整備されてきたことによるものであるが、水道事業者の水源監視活動、PRの効果も大きいもの

と考えている。

2. 水源水質監視体制

前項で述べたように淀川の急激な汚濁に対処して水道事業体は、水源を守るという自衛の立場から、権限のないまま各種の調査を実施していた。

国においては、昭和26年経済安定本部資源調査会の「水質汚濁に関する勧告」を受けて以来、その法制化に向けて関係省庁の連絡協議会が設けられ、淀川についても実態調査が行われることとなった。淀川については、昭和29年「水質汚濁防止関西地区協議会」が設置されて、実態調査が進められた。以後順次、水質汚濁防止に関する法体系が整備されてきた⁹⁾。

現在、淀川水系では、水道事業体も参画して活発に活動している2つの協議会がある。

2.1 淀川水質汚濁防止連絡協議会

「水質汚濁防止関西地区協議会」が実態調査を終え、その任務を終了したが、その組織を活用して昭和33年、近畿地方建設局、大阪通産局をはじめ、関係府県市をもって「淀川水質汚濁防止連絡協議会」を結成したものである。水質保全、下水道総合計画、水質監視委員会が設置されており、淀川水系の水質調査とその整理記録を行い、琵琶湖から大阪湾に至る広範囲な水質の年々の水質汚濁状況を把握している。また、水質異変時の連絡組織網が設けられており、異変時の情報交換と適切な措置がとられるようにしている。

水道に直接関係する琵琶湖のカビ臭発生と対策については異臭小委員会が設置され、関係者協同で調査研究しているところである。

2.2 淀川水質協議会

前記協議会とは別に、水道事業者が独自に緊密な連

表1 年度別原水水質異変発生件数

項目 年度	油	色	異臭	PH値 上 昇	濁度 上昇	農薬	フェノール類 40 $\mu\text{g}/\ell$ 以上 検 出	シアン	魚浮上	その他	計
38	1						1				2
39	1										1
40	3						1				4
41		7						1			8
42	2	1	2					1		2	8
43	13	3	2		1	1				1	21
44	4	10	7						4	11	36
45	10	2	3		2				6	8	31
46	23	3	3					2	4	2	37
47	9	2	2		1		2	1	6	1	24
48	16	4			2		1	3	5	6	37
49	18	1					1		2	3	25
50	14		1		1	1			5	3	25
51	10								3	2	15
52	6	1							4	2	13
53	8		1		1				2	2	14
54	1						1		1		3
55	2		3						1	1	7
56	1	1	1							1	4
57	2		3		1				7		7
58	4		2						2		8
59	4	1	2				2		3	2	14
計	153	36	34	1	10	3	10	8	49	49	353

絡をはかりながら水質汚濁の監視にあたるとともに、淀川から取水する水道の共通の問題を調査研究する場として、昭和40年「淀川水質協議会」が結成された。

現在8事業体で構成している。この協議会の目的は①淀川から取水する水道事業者相互間において、淀川の水質について連絡をはかること、②淀川の水質改善について関係先へ要望し意見を述べること、③淀川の水質について調査研究を行い関係先へ周知徹底をはかること、④淀川への排水施設の改善等について、助言または要望をすること、⑤淀川の水質汚濁防止ならびに水質保全に関するPRを行うこと、等である。

また、カビ臭、トリハロメタン、変異原性物質等についてはそれぞれ小委員会を設け、調査するような活動も行っている。

3. 大阪市における水道水の安全性向上に関する調査研究

淀川の現在の水質は、水質汚濁に関する法体系の整備、下水道整備の進歩によりBODのような水中の酸素消費に関する指標でみると改善されてきており、小康状態を保っているといえる。

現在の淀川水質の問題点は、アンモニアと塩素消毒の問題、窒素、リン等による琵琶湖の富栄養化とカビ臭の問題があり、一方で新たな化学物質による汚濁の問題がある。

高度経済成長期には、重金属が人の健康との関係で注目された。大阪市では、昭和43年、原子吸光光度計を導入し、短時間に簡便にppbレベルまで測定できるようになった。このような重金属をはじめ無機物質による水質汚濁の原因は、工場排水による場合が多いから法的規制と監視で比較的容易に解決される。

しかし、有機物については、種類も多く分析方法も確立されていないものが多い。有機物の個々の分析技術の開発を進める一方で、有機物の総括的水質指標の開発も必要である。従来水道水源としての一般的な有機物の水質指標として、BODを利用してきた。しかし、淀川に排出される排水のうち、生物処理された排水の割合が高くなってきており、5日間BOD値を測定する際、アンモニアの硝化による酸素消費が入ってきており、BODの中味が問題となってきた¹⁰⁾。

大阪市では、有機物指標としてけい光強度、紫外部吸光度、TOC等の持つ意味と測定上の限界を認識したうえで、総合的判断にどう役立てられるか種々データの集積をはかっているところである。

3.1 微量有機物に関する調査

(1) 分析方法の開発

大阪市では昭和45年にガスクロマトグラフを導入

し、有機物の測定にとりかかった。しかし、分析方法が充分確立されていなかったため、PCB、フタル酸エステル、アクリルアミドモノマー程度の分析しかできなかった。昭和52年にガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)を導入してから次第に手がかりを得ることができるようになり、今日までに、トリハロメタンとカビ臭物質の簡便で精度の良い測定法を開発してきた^{11),12)}。

水道水中には、何百種類もの微量有機物質が含まれているといわれている。これらの物質は水道で制御するのは不可能であるとはいえ、それらの分析と評価への努力を怠っては水道事業者としての当事者能力を失うことになる。少なくともWHO¹³⁾、米国EPA¹⁴⁾で議論されているような有機物については、分析できる能力をつけておく必要があると考える。

大阪市では技術能力と経済性を考慮しつつ、分析機器の整備につとめているところである。最近導入したものに、高速液体クロマトグラフ、イオンクロマトグラフ、キャピラリーガスクロマトグラフ等があり、GC-MSも3台に増強した。

WHOは、1984年に新たに18の有機物についてガイドライン値を設定した。しかし、分析方法については示されておらず、ガイドライン値の1/10の濃度が測定できることを指定しているだけである¹³⁾。大阪市ではGC-MSを用いて、今まで測定したことのない物質を中心にWHOがガイドライン値を設定した物質の測定法を検討し、同時に淀川の実態を調査した¹⁵⁾。結果は表2に示すとおりであり、測定方法はガイドライン値の1/10を測定できること、またこれらの物質は、淀川にはガイドライン値と比較して問題とする量は含まれていないことが判明した。

(2) 淀川における農薬汚染

農薬は種類も多く、分析方法もわからないものが多い。これまで問題になりそうなものについては、そのつど、分析方法の調査と測定を行ってきた。有機塩素系農薬に関しては、昭和54年以来継続して調査しており、淀川枚方地点の結果は表3に示すとおりで、問題とする量を検出していない¹⁵⁾。

(3) 浄水処理技術に関する調査

水道水中に何百もあるといわれている化学物質について、1つ1つを同定してその処理性を論ずることは不可能である。それらを一括して、全体として安全性を向上させる処理技術が必要と考える。現在実施可能な技術として、オゾン処理、活性炭処理、生物処理技術があげられる。大阪市では、カビ臭物質をはじめとする微量有機物低減化対策として、オゾン処理、活性炭処理、生物処理のパイロットプラントによる実験を

表2 淀川柴島浄水場原水及び浄水中微量有機物質

(μg/ℓ)

化 合 物 名	濃 縮 法	検出下限	測定結果		WHO ガイドライン値
			原 水	浄 水	
ベンゼン	ヘッドスペース法	1	0	0	10
1,1-ジクロロエチレン	ヘッドスペース法	0.5	0.0	0.0	0.3
クロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.005	0.00	0.00	
O-ジクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.08	0.07	
p-ジクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.12	0.10	
m-ジクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.01	0.01	
1,2,3-トリクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.10	0.04	
1,2,4-トリクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.20	0.06	
1,3,5-トリクロロベンゼン	パージ・トラップ法	0.01	0.00	0.00	
ヘキサクロロベンゼン	溶媒抽出法	0.01	0.00	0.00	0.01
メトキシクロル	溶媒抽出法	0.01	0.00	0.00	30
ヘプタクロール	溶媒抽出法	0.05	0.00	0.00	0.1
ヘプタクロールエポキシド	溶媒抽出法	0.3	0.0	0.0	0.1
O-クロロフェノール	溶媒抽出法	0.01	0.0	0.0	
m-クロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	
p-クロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	
2,6-ジクロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	
2,4-ジクロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	
2,4,6-トリクロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	10
ペンタクロロフェノール	溶媒抽出法	0.02	0.0	0.0	10
ベソゾ(a)ピレン	溶媒抽出法	0.05	0.00	0.00	0.01

表3 淀川枚方大橋（環境基準点）における有機塩素系農薬

(μg/ℓ)

項目 \ 昭和	54	55	56	57	58	59	60
α-BHC	0.000	0.028	0.025	0.020	0.016	0.015	0.000
β-BHC	0.08	0.04	0.03	0.06	0.02	0.03	0.00
γ-BHC	0.000	0.001	0.002	0.002	0.005	0.005	0.000
δ-BHC	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000
アルドリン	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
PP'-DDE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
ディルドリン	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
DDD	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
PP'-DDT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
エンドリン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

継続してきた。この実験での処理性評価に、これまでに開発した分析技術が大いに役立っていることはいうまでもない。

例えば、活性炭濾過によるトリハロメタン前駆物質の低減量は図3に示すようになる。したがって、活性炭濾過を実施したと想定すると、この処理水に塩素を注入することになるから水道水のトリハロメタンは現在の1/2またはそれ以下となり、これは汚染を全く受けていない自然水を直接原水として利用するのと同程度と推定される。

現在、維持管理上の問題等、設計諸元を得るために、実証プラント(2,000m³/日)による実験を行っているところである。

3.2 水源水質汚濁に関する調査

(1) 琵琶湖富栄養化に関する調査

琵琶湖で発生するカビ臭について、発生原因、予測、対策について、淀川水質汚濁防止連絡協議会、淀川水

図3 淀川柴島浄水場原水のトリハロメタン生成能の経年変化と粒状活性炭濾過による低減効果

質協議会と協同で調査している。

(2) 淀川水系における人為的汚濁源の負荷量調査

淀川水質汚濁防止連絡協議会、淀川水質協議会で協同で調査している。

3.3 給水栓水の監視

水道にとってもっとも重要なことは、給水栓水の安全の確認である。直接採水による日常試験と合わせて、連続自動監視装置（8台）を設置している。

おわりに

最近における淀川の水質汚濁の状況と大阪市における調査研究の概要を紹介してきた。水道水の安全性を確保するには、水源水質の保全、浄水処理過程における安全性の向上と、給配水施設内での水質劣化を招かないことが重要である。浄水場でいかに完全に処理しようとも、給配水施設内で水質劣化があつては、安全は確保されない。大阪市では、浄水処理技術の開発と併行して、給配水施設内の水質変化に関する調査を実施している。現在、給水中の微量な有機物の量と質が、塩素消費に大きく関与していることを見出したところである¹⁰⁾。今後も市内給水栓水の連続自動監視装置を活用して水質変化を追跡する予定である。

まだ着手していない調査研究課題には、変異原性に関するものとウイルスに関するものがあり、これらに関する知見を収集している段階である。また、浄水処理技術が塩素を使用しない方式になれば、浄水処理過程における微生物の挙動が重要となってくる。大阪市にはプランクトンの挙動については多くの知見が蓄積

されているが、バクテリアについての知見は少ない。今年度から浄水処理過程におけるバクテリアの挙動についての調査に着手したところである。

このように、より安全な水を目指して調査すべき課題が多く残されている。今後の分析技術の進歩は、より多くの情報を我々にもたらしてくれるであろう。しかし水道の分析技術は単に物質を測定するのみに終わってはならず、水処理における処理性の評価と安全性の確認と監視に役立てられなければならない。

水道における安全性向上に関する調査研究の成果が、水道にとってもっとも重要な水源水質保全施策に生かされるよう、不断の努力が必要である。

文 献

- 1) 水川健次（1968）淀川における原水水質異変，水道事業研究 60号，大阪市水道局。
- 2) 八木正一（1984）河川と水質，土木学会誌，9月号。
- 3) 柴島浄水場浄水係（1963）淀川水系の異常濁水と浄水作業記録，水道事業研究49号，大阪市水道局。
- 4) 吉竹俊治（1967）柴島浄水場浄水設備改良について，水道事業研究59号，大阪市水道局。
- 5) 淀川水質協議会（1970）淀川水系の濁水期における原水水質と浄水処理，水道協会雑誌第435号。
- 6) 淀川水質協議会（1975）淀川水質協議会拾年の歩み。
- 7) 玉井義弘，水川健次（1971）産業廃棄物投棄所からの廃油流出による淀川原水異臭事故経過報告水道事業研究71号。
- 8) 松尾雄三（1985）フナのえら蓋の活動電位による急性毒性の監視実験，水道協会雑誌，54，10。
- 9) 大阪市水道局（1982）大阪市水道80年史。
- 10) 大阪市水道局（1981）水質保全問題の基本的調査（その2）報告書。
- 11) 梶野勝司（1977）塩素処理におけるトリハロメタンの形成，水道協会雑誌，No514。
- 12) 梶野勝司，藤本信之，芦谷和芳，八木正一（1984）パージトラップーマスフラグメントグラフィによる水中及び藍藻培養液中の2-メチルイソボルネオールとジオスミンの超微量分析，水道協会雑誌，600。
- 13) World Health Organization (1984) Guidelines For Drinking-Water Qual 慎重訪(1) I, Recommendations
- 14) U.S. EPA (1985) "Federal Register" Part III, 46880-46933
- 15) 藤本信之，芦谷和芳(1986)WHO ガイドラインに示された有機物のGC-MSによる測定，大阪市水道局水質試験所調査研究ならびに試験成績第36集
- 16) 松井克肇，徳光信治，奥勇治（1986）市内給水栓水の残留塩素適正保持に関する一考察，第37回全国水道研究発表会概要集