

< 講演 >

21世紀の水道を考える

眞柄 泰基

北海道大学創成科学研究機構*

Yasumoto MAGARA

1 はじめに

水道法の改正や水質基準の改定など、水道をめぐる環境は大きく変化をとげつつある。横浜市に近代水道が創設されてから1世紀を超え、全ての国民が水道の便益を享受出来るようになったものの、水道の目的が公衆衛生の向上という段階から、社会基盤施設として機能することが求められる段階に入ったことの反映であることを認識しなければならない。すなわち清浄な水道水を供給するばかりでなく、様々な用途に利用されている水道水を絶えず供給されていなければならないからである。すなわち、かつては許容されていた一時的な断水すら許容されなく、ましてや、法律に定められている衛生上の措置による給水停止は、社会活動への影響を考えると実施できない状況にあることを認識しなければならない。すなわち、給水を停止出来ない水道を構築することが必至な状況にあるということである。

水道はそのような意味で、水道創設期や拡張期とは異なった、より信頼されるサービスを持続的に提供することが求められるパラダイムに入っているのである。そのため、水源から浄水施設、管路施設、給水施設に至るまで、そのようなサービスを提供できるように高度化されなければならない。管路の耐震強化や緊急貯水槽を含めて配水池容量の増加、水質基準の改定に示される健康影響リスクばかりでなく快適性・利便性への配慮等サービス水準のベンチマークが具体的に示されるようになってきている。しかし、ベンチマークが定められているものの、具体的な数値基準ではなく性能基準が示されている。ここに、水道事業体を含めて水道界での独自性や独創性

が重きを置かれるようになったのである。

2 水道の限界

江戸の水道は1654年に建設され玉川用水によって、多摩川の上流、羽村地点から毎秒6m³を43kmにわたる用水路で導水した水を、木管等で町中に設けた用水井戸に配水し、当時世界最大ともいわれた人口130万人の生活を支えていた。この玉川用水は現在でも東京都水道局の導水施設として利用されているが、多摩川の水を特別の処理を行わなくても、江戸の市民にはコレラやチフスのような重篤な感染症の発生はなかった。それは、わが国にコレラやチフスの原因となる感染性微生物がまだ侵入していなかったからである。

1860年代になると、これまでわが国に村座していなかったコレラが外国人によって持ち込まれ、長崎を経て各地でコレラが発生するようになった。1870年開港地である横浜で3万人がコレラで死亡し、わが国初めての疫学調査が実施され、その原因が糞尿で汚染された側溝とそこから浸透し、汚染した地下水を利用している井戸水であることが明らかとなった。これは、ジョンスノーがロンドンで行った疫学調査から僅か15年後のことであり、明治政府の国際化の拠点としての横浜の意義を認識し、それが1888年横浜で緩速濾過した水を圧力管で供給するという近代水道の実現へと向かっていったのである。全ての建設用の資機材は英国から輸入して建設されたのであり、いかに開国によりもたらされた新興感染症がわが国にとって脅威であったかを物語っている。横浜のような新興感染症の猛威により、東京や開港都市で次々と近代水道が整備されていったのである。

第二次世界大戦の終結は、明治の開国と同様に、新興・

*〒060-8628 札幌市北区北8条西5丁目
TEL:011-706-7278 FAX:011-706-7278
E-mail:magara@eng.hokudai.ac.jp

再興感染症の脅威をもたらしたのである。その原因は、終戦に伴い海外からの帰国者や占領軍とともにもたらされた感染性生物、水道を含めて破壊された社会基盤施設、極度に貧困な栄養水準等が挙げられる。このようなことから占領軍総司令部は1945年に、水道における塩素消毒の義務づけと、上下水道分野の技術者の再教育を占領軍の命令として発し、感染症対策としての上下水道のレベルアップを図ろうとしたのである。そして、憲法25条の生存権事項に公衆衛生の向上が国民と国の権利義務として明言されたことにより、1957年の水道法、廃掃法等公衆衛生に関係する一連の法律が制定され、それぞれの目的に、例えば水道法が「豊富、低廉で清浄な水道水を供給することによって公衆衛生の向上に資する」と水道の目的を明かかとしているように、感染症対策として水道を含め社会基盤施設の整備が国策として展開されるようになったのである。すなわち、大都市を中心とする水道から、農山漁村まで水道を整備することとなったのである。

水道の普及率の向上にとともに、都市活動を含めて洗濯機、家風呂等水を多用する機器の普及をもたらし、一人あたりの水使用量を増加させ、その普及に応えるべく水道施設の建設や拡張事業が全国で展開されたのである。その結果は、Fig.1に示すように、1970年の年間給水量約70億 m^3 から、今日の150億 m^3 と倍増をした。この増加する水量に対応するため水資源施設の建設が行われ、河川の自流水の占める割合が低下し、ダム等停滞水域の占める割合が増加し、今日では両者が拮抗して全体の約35%ずつを占めるようになった。

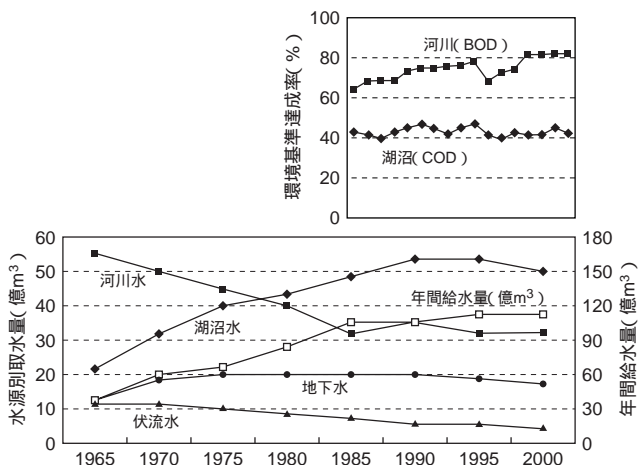


Fig.1 水道取水量と環境基準の推移

水道水の需要増に対応するために建設された水資源施設は、国土に新たに建設された水環境であり、その水環境についての科学的な知見が不十分なまま、量の確保と

いう命題を満たすべく創成されたのである。植物生産性が高い中緯度地帯に属する国土に、新たにダム湖という停滞水域が出現すれば、必然的に植物生産、即ち植物プランクトンの出現を招くことは、今日では常識であるが、かつてはそのことへの関心は低かったといわざるを得ない。しかも、ダムから需要地点まで専用の導水施設が整備されたことは少なく、ダムを水資源賦損量の平準化目的で整備したため、河川の自流水も植物プランクトンの影響を受けた水ということになる。農業活動で化学肥料が多用され、合成洗剤の添加剤にリン化合物が使用されたこともあって、停滞水域の栄養塩類濃度の増加、即ち富栄養化に伴うプランクトンの増殖は、水道水の水質に多大の影響を及ぼすに至ったのである。

環境基本法(旧公害対策基本法)により達成することが望ましい環境基準が定められ、その環境基準を達成するための方策の一つとして水質汚濁防止法に定める排水基準が定められた。この排水基準は環境基準の10倍としてこれまで定められてきている。これは、排水が公共用水域で10倍に希釈されることを期待しているということである。しかし、環境基準や排水基準の制度が発足した1970年代当初での、水資源賦存量に対する水利用率は都市用水、工業用水を含めて現在の半分であったが、今日では全国平均ですら10%を超える状況にある。即ち、地域的に見れば環境基準が達成できないのは当然のことであり、これはFig.1に示す環境基準達成率の推移が如実に示している。

水道を含めて都市用水の使用量が増加することによって、感染症対策をはじめとして多くの便益をもたらしてきたが、その一方で、公用水域、なかでも淡水域に対しては水環境に多くの変化をもたらした。それは、水環境における生態系への影響もあるが、都市用水システムそのものの持続性を危うくするという様相の顕現が生じている。例えば、水道水の異臭味、消毒副生成物、生物資化性有機物質等汎用浄水システムで対応できない新たな水質障害によってである。

3 水道サービスのベンチマーク

水道法の一連の改正や施設基準の改正など、水道行政の流れは水道事業者の自己責任、ナショナルミニマムを満たすことばかりでなく、それぞれの水道事業者を取り巻く環境に応じて求められるシビルミニマムを満たすことが求められるようになった。

WHOが改定をした飲料水の水質ガイドラインは水道

水として相応しくない水道水中の化学物質などのガイドライン値を定めようと言うことばかりでなく、水道用資機材の品質規格や HACCP の概念を水道にも当てはめた適正水質管理マニュアルの策定など水道施設の然るべき管理のあり方にまで対象としている。これは、水質ガイドライン項目を増やすことによって水質管理を徹底するばかりでなく、水源から給水栓まで水道施設全体での運用管理というソフト的な役割に重きを置こうとするものである。

このような流れは、世界各国の水資源の制約条件が厳しくなっていること、水道水の水質を含めて水道サービス水準が多様化してきていること、水道施設の整備や更新に必要な人的・公的資金に限界が生じ民間資金の導入を図らなければならなくなっていることがあげられる。しかも、そのような流れの中であって人々の健康と生活に不可欠な水道としての責務を果たすという規律を果たすためのベンチマークが必要であり、それが WHO の水質ガイドラインの扱っ範囲を広げさせたことにつながっている。ISO が水道サービスについて国際規格を定めようとしている背景も同じところにある。

水道法に定める水質基準はこれまで、全ての水道に遵守義務が課せられてきた。しかし、今回の水道法の改正に当たっては、水道により供給される水の質は、地域、原水の種類・質、浄水方法などにより大きく変動するという実態を考慮されたことに特長がある。すなわち、水質基準の見直しに当たり、次のような新たなシステムが導入されることとなっている。全国的にみれば検出率は低い物質(項目)であっても、地域、原水の種類又は浄水方法により、人の健康の保護又は生活上の支障を生ずるおそれのあるものについては、すべて水道法第4条の水質基準項目として設定する。一方で、すべての水道事業者に水質検査を義務付ける項目は基本的なものに限り、その他の項目については、各水道事業者等の状況に応じて省略することができることとする。このようなことから水質検査の適正化と透明性を確保するため、水道事業者等に対し、水質検査項目(省略する場合にはその理由)を明示した水質検査計画を作成し、これを事前に公表することが求められるようになっている。

ISO/TC224 は、水道事業者のためのガイドライン、水道水供給のためのアクションプランと水道水供給のための業務指標システムからなっている。ガイドラインは、いわば水道事業の理念と目的を記したものであり、水道憲章ともいべきもので、基本的にはわが国の水道法が憲法で定める生存権と係る公衆衛生の向上を承けているのと変わるものではない。アクションプランはそれを具体

的な行動指針としたもので、水道法の各条項や省令あるいは供給規定に相当するものと考えればよい。水道事業にとって、ISO/TC224 の適用を図ることによって、最も具体的にその効果が現れるのが業務指標によりそのサービス水準を他の水道事業者のそれと対比することである。すなわち、業務指標は水道事業を構成する、水源・浄水処理・給配水等水量・水質に関する業務、料金を含めて財務や人材管理、リスク管理や情報公開等全ての業務に具体的な指標を設定し、その指標がどの程度の水準にあるか、あるいは、達成されているかを数値化して評価し、その全容を持ってある水道事業者のサービス水準を評価しようとするものである。したがって、その結果を水道を利用している顧客に公開することによって、顧客満足度をふくめて他水道事業者との比較が可能になったりする。

ISO/TC224 の導入によって水道サービス水準が計量化出来るようになるのであるから、水道事業の運営に民間企業が関与するときに、現状の水道サービス水準に比べて、どれだけサービス水準を上げられるということが、料金ばかりでなく、競争要件になることになる。すなわち、委託・受託の関係の透明性が高まるということにもなる。まさに、水道事業のビジネスモデルがグローバルに標準化されようとしているのである。

一方で、業務指標は水質管理業務の効率化やユーザーとのリスクコミュニケーションのツールとしても、大きな役割を持っている。水質管理での PI は、原則として水質基準を満たしているかどうかをもって、まず、評価されるであろうことは、水道法に定める水質基準の意図しているところから当然のことである。

水道水の水質を全国的に俯瞰するとき、水質基準に定められている項目のうち消毒副生成物と残留塩素をのぞいて水質基準値にくらべて低い、即ち良質な水道水が供給されていると考える。しかし、消毒副生成物であるトリハロメタンと残留塩素については Fig.2 に示すように地域的に大きな格差がある。しかも、消毒副生成物は水

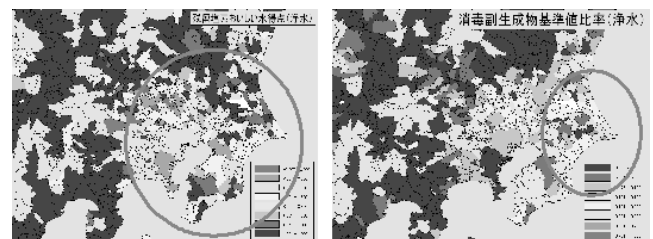


Fig.2 水道水質の状況(残留塩素と消毒副生成物)

道原水に含まれるごく一般的な有機物質が塩素と反応するものであり、しかも、発ガン性を有するとされているものも含まれており健康影響リスクの代替指標として扱うことが出来る化学物質群である。残留塩素は感染性微生物のバリアーとして水道水の衛生性を確保しなければならないものではあるが、一方では、異臭味の点から水道利用者が水道水の質にたいして最も鋭敏に反応する代替指標でもある。この二律背反的な水質が、地域的な差異があることが、水道事業の持続性を危うくしている原因であると言っても過言ではないと考える。

河川の下流に存在する浄水場は、一般的に上流流域における下水処理場等の放流口の下流で取水せざるを得ない場合が多く、薬品コストの増大等のデメリットが発生している。このような状況を回避するための措置として、上下水道の取排水系統の再編や、取水位置の上流への変更、伏流水の取水が有効である。また、上流取水の効果には、薬品コスト等の削減の他に送配水に要するコストの削減も期待され、水道システムの環境負荷の低減に資する。このような、取水、排水位置の適正化、上流取水による水道システムの再構築について、河川の流域単位での関係者間の調整検討を積極的に進める必要がある。このような水資源の有効な活用を図るために、水需要量の減少に伴う余剰水資源を水循環の健全性を回復するために活用することが考えられなければならない。

4 これからの浄水技術

水に関わる関係省が多いため、水道水源の確保や保全ばかりでなく、水資源や水循環について国としての方策がかならずしも明確でない。このような課題を解決するため国では、水に関わる関係省が共になって健全な水循環に関する会議がある。この会議の成果として、健全な水循環構築のための計画策定や研究費が確保されている。この枠組みの中で環境影響低減化技術開発研究が厚生労働科学研究費を受けて実施されているのが「e-Water」プロジェクトである。この研究費に加えて民間企業も研究費を拠出し、水道事業体の協力を得ながら合同実験を行ったり、大学等研究機関の研究者が行う基礎研究をおこなう、また、民間企業等が独自に技術開発テーマを設定しておこなう持ち込み研究が実施されている。

e-Water がこれまでの産官学共同研究と異なるところは、健全な水循環の構築という視点から水資源の有効利用や環境負荷低減が、研究を設定する際に強く意識されていることである。そのため、省エネルギー、排水量や汚

泥量の低減という環境負荷を下げる事が出来つつ、安全で快適で利便性の高い水道水を供給できる浄水処理技術や監視システムの構築を目指している。しかも、全国の多くの水道事業体で更新時期を迎えている、あるいは迎いつつある浄水施設をコスト低減と機能向上を図りながら更新するためという目標が掲げられている。

地球温暖化防止のための京都議定書を取りまとめたわが国は、特に目標とされた炭酸ガスの発生抑制に努めなければならない国際的な責任を有している。このようなことから $0.5\text{kwh}/\text{m}^3$ という平均的な電力使用量を要し、総電力使用量の約 0.9% を消費している水道事業での省エネルギー型の水道技術の開発はまさに愁眉なところである。省エネルギーが浄水処理システムの開発ということに関しては、LCA を行うことが水道でも必至になる。

浄水システムでの水の有効利用では、特に膜濾過においてこれまでの膜濾過の浄水処理での有効率が 90% から 95% 程度であったものを、少なくとも 95% 以上にして、水資源のように高利用ばかりでなく、排水の環境負荷を少なくなることを目標とするよう要望している。今後、膜濾過は大規模な浄水場で適用されることになるので、膜濾過の洗浄排水をさらに膜濾過処理、すなわち2ステージ濾過を適用することにより、2段目の膜濾過水も浄水として利用できるよう技術が必要であると考えからである。膜濾過でもっとも緊務な課題は膜モジュールの標準化である。膜素材は日進月歩である。膜モジュールが標準化されれば、浄水場のホルムを変えることなく、新しい膜素材を適用して、より効率的で上質の浄水を供給できることになる。標準化といっても一つの形式にするということではなく、浄水施設のおかれている地形的、水理的な特徴に応じていくつかの方式に標準化されなければならない。

水の有効利用と同じように、汚泥量の削減も重要な課題である。アルミニウムに変わる代替凝集剤や凝集剤注入量の削減技術という観点からのアプローチもある。しかし、健全な水循環の構築という目標に向かって様々な対策が講じられようとしている。そのため、水道原水の状況、特に汚泥発生量と関係する濁度発生確率分布は、水質汚濁防止法により水道施設での排水処理を実施するようになった当時と今日とは異なっており、さらに、変化するものと考えられる。汚泥の発生量は、降雨時の高濁度時の継続時間と取水停止に耐えることが出来る配水池容量の確保のトレードオフにより、水道事業の中でも制御可能であり、このような考え方に基づく研究の展開も期待できる。また、浄水場から発生する排水はアルミ系にしる、鉄系の凝集剤であれば、凝集能力を有している

ことから下水道に排出することにより、下水処理場における脱リン効果を含めた処理能力向上が期待できる。欧米諸国では浄水場排水を下水道に排出することは一般的なことであり、このような効果を確認するような研究も積極的に展開されるべきである。

NF膜についての研究も積極的に展開されなければならない技術である。とくに、オゾン酸化副生成物である臭素酸の水質基準がさだめられ、その発ガン性からすると5ppb以下に定められる可能性も高いことから、従来のオゾン・粒状活性炭という高度浄水処理の代替あるいはそれよりも進んだ浄水処理技術としての確立が求められるのである。NF膜濾過は、消毒副生成物前駆物質ばかりでなく農薬等微量化学物質やアンチモン、ホウ素等これまでの浄水処理で対応できなかった無機物質も除去できる。さらには、硬度や蒸発残留物質もかなりの程度まで除去できる技術であり、おいしい・快適で利便性の高い水道水を供給できる可能性を有している。さらには、先に記したような排水のない、ゼロエミッション型の浄水場や上質水道を可能にする分散型浄水施設の実現をも可能にすることが出来る浄水処理である。

水質基準の改正に伴い、水道水源の状況や浄水施設とその工程管理の状況に基づいて水質検査計画を立てることになっている、このようなことから水質等の計測制御技術の高度化が求められるようになってきている。また、第三者委託制度の発足にとともに、特に小規模浄水施設における管理情報システムの構築が求められている。これには、ACT21で、提起された水道における新しいビジネスモデルとしての第三者機関による支援システムの具体化が必要であろう。とくに、トータルシステムのシミュレーションモデルを構築することが、ビジネスモデルの知的財産として不可欠である。しかし、これには人的・財的な資源投入が必要であり、すなわち、絶えずバージョンアップが求められることから、さらなる展開が求められると考えている。

5 おわりに

工業先進国で表流水の占める割合が高いのはイギリスと米国であり、ドイツなどは地下水の占める割合が高い。しかし、残留塩素の保持ということになるとヨーロッパ諸国では残留塩素の保持を義務づけしていなく、塩素処理を行っていない水道事業者も多い。それは、塩素臭を給水栓水で感知されることは、水道利用者からの苦情を招き、ひいては水道に対する信頼性を低下させることに

つながるという認識がある。トリハロメタンや農薬類が水道水から検出されることもあり、オゾン、活性炭、軟水化処理、精密・限外濾過膜、NF濾過膜と浄水処理におけるレダングンシーを増し、さらには給配水システムの有効率を高めるとともに水質劣化を少なくする資機材を用いるなどして管理技術を高めつつある。当然のことながら、塩素の使用を行わないか、塩素臭を感知しない水道水を供給する水道が多くなっている。その結果として、水道水の信頼性が回復し、テーブルウォーターとして水道水が使われるようになってきているのである。

食品を含めてものやヒトの国際的な流通が促進されることによって、これまで顕在化していなかった大腸菌O-157による感染症が発生し、クリプトスポルジウムによる水系感染症のリスクが高まった。特に、クリプトスポルジウムは塩素耐性があることから、常用の塩素処理では感染力をなくすることが出来ない。そのためもあってオゾン処理やオゾンに過酸化水素等を併用した酸化処理がトリハロメタン前駆物質等微量な有害有機物質をも低減化できることから積極的に行われている。しかし、これらの処理はエネルギー消費型の水処理技術であることから、地球温暖化の観点から、よりエネルギー消費量を少なくするような技術開発が積極的に行われなければならない。そのようなことから、水処理技術の原点ともいえるべき環境での自浄作用を模倣する粗な技術ではないが、全体として省資源、小環境影響が成立する水処理技術が求められている。また、エネルギーの効率を高められる技術、素材開発過程でエネルギーの消費があっても単位プロセスでのエネルギー消費が少なく、全体としてエネルギー消費が少なくなる技術が求められているのである。

国際的な障壁緩和の促進は感染性生物や化学物質の国際的な拡散ばかりでなく、水道を巡るビジネスそのものの競争原理導入を促進している。改正されようとしている新しい水質基準の制度は、水道事業者は顧客満足度を満たすような自己責任のもとで、そのアカウントビリターを満たして、持続的な水道事業の展開を求めるようになってきているのである。ISO/TC224は、まさに水道事業のグローバルスタンダードという国際的な枠組は、新しいパラダイムでの健康な都市基盤施設としての水道のあり方を考えさせるのである。