

安全で低環境負荷の浄水処理をめざして

水道原水を考慮した浄水処理*

眞柄 泰基**

はじめに

広島県公営企業部が所管する送水隧道(すいどう)の崩落事故が8月25日に発生し、その影響を受けて受水団体である呉市および江田島市の約3万2,000世帯が断水の影響を受けるとともに、工業用水も断水した。その修復には3週間程度と長期間かかるものと推定され、種々の問題を提起した。

この隧道は1965年に供用開始されたものであるが、点検を含めて維持管理事業を行うためには給水停止が伴うことから、利水者との調整が取れなかったことから点検作業が行われてこなかったとされている。しかし、隧道自体の劣化によるものではなく、隧道上部の岩盤が崩落して隧道内に落下したのが原因とされており、維持管理業務が行われていたとしても、このような事故を予見することは困難であったかもしれない。しかし、この事故によって多くの市民の日常生活に支障をきたしたばかりでなく、事業所用水を含めてさまざまな社会活動に深刻な影響を与えた。

阪神淡路大震災で水道水の供給が停止したことによって、社会活動に深刻な影響を与えたことの教訓、すなわち社会活動や日常生活に必要な水は水道以外にない。したがって、水道は止められないということである。それ

は、水道の普及率が約97%に達し、実質的に水道法の目的である公衆衛生の向上と生活環境の改善という目的は達成されるに至っていることの証左でもある。

2001年度末における水道資産は約37兆円であり、送配水施設が約23兆円、浄水施設は約5兆円、そのほかの施設が8兆円の構成となっている。この37兆円の資産により、年間約3.2兆円の水道料金収入があり、水道事業体職員が約6万7,000人、関連民間企業等で24万9,000人の雇用効果をあげている。

しかし、このような状況であっても水道料金の一般家庭の可分所得に占める割合はわずか0.7%であることや、施設更新のための積立留保金が十分でないことなどにより、施設の適切な更新や維持管理を困難にしている。水道事業が公設・公営原則であり、水道料金の設定が地方議会の議決事項となっているため、財政的にきわめて厳しい状態にならない限り、料金改定ができないのが原因であると考えられる。そのため、持続性を求められる社会基盤施設としての水道に必要な投資が先送りされているという問題が顕在化しつつある。

広島県の例ばかりでなく、経年化施設の維持管理や更新が適切に行われ難い状況を考慮

* Water Purification System in Consideration of Water Quality

** Yasumoto MAGARA 北海道大学公共政策大学院特任教授

キーワード ①水道水の発がんリスク ②水道原水 ③結合塩素処理 ④水道事業ガイドライン

すると、管路施設ばかりでなく浄水施設についても、どこかで給水停止をせざるを得ない事態を招くと憂慮せざるを得ない。現に、クリプトスポリジウムによる感染症の発生や塩素注入管理が不適切のため感染症が発生して給水停止を実施せざるを得ない事態が発生している。

1965年の年間給水量は約70億 m^3 /年であり、河川の自流水が約55億 m^3 、その他の水源が30億 m^3 であった。水道普及率の向上とともに年間給水量が増加するにつれて、水道水源の構成が大きく異なるようになっていく。すなわち、地盤沈下対策のために地下水取水量の増加は少なく、河川自流水および伏流水の占める割合が低下し、それを補うようにダム・湖沼等新規に開発された水資源施設からの取水量が増加している。しかし、湖沼等停滞水域の環境基準の達成率は40%台に留まっており、植物プランクトン等の影響を受

けた水源となっている。しかも、ダムから直接取水して浄水施設まで導水している水道事業体が少ないため、流域から排出される排水や農業排水等非点源負荷の影響を強く受けていることになる。

さらに、化学物質のリスク管理が強化されることに応じて水質基準が強化されることに伴い、浄水施設の高度化を図らなければならない。

1. 浄水施設の高度化とは

水質基準項目のうち、発がん性の観点から基準が定められている項目について、水道原水および水道水についてそれぞれの発がんリスクを求め、それらの総和をもって水道原水および水道水の発がんリスクとし、それらの値を首都圏の地方自治体別に示すと図1のようになる。さらに、水道水の発がん物質の構成を示すと図2のようになる。

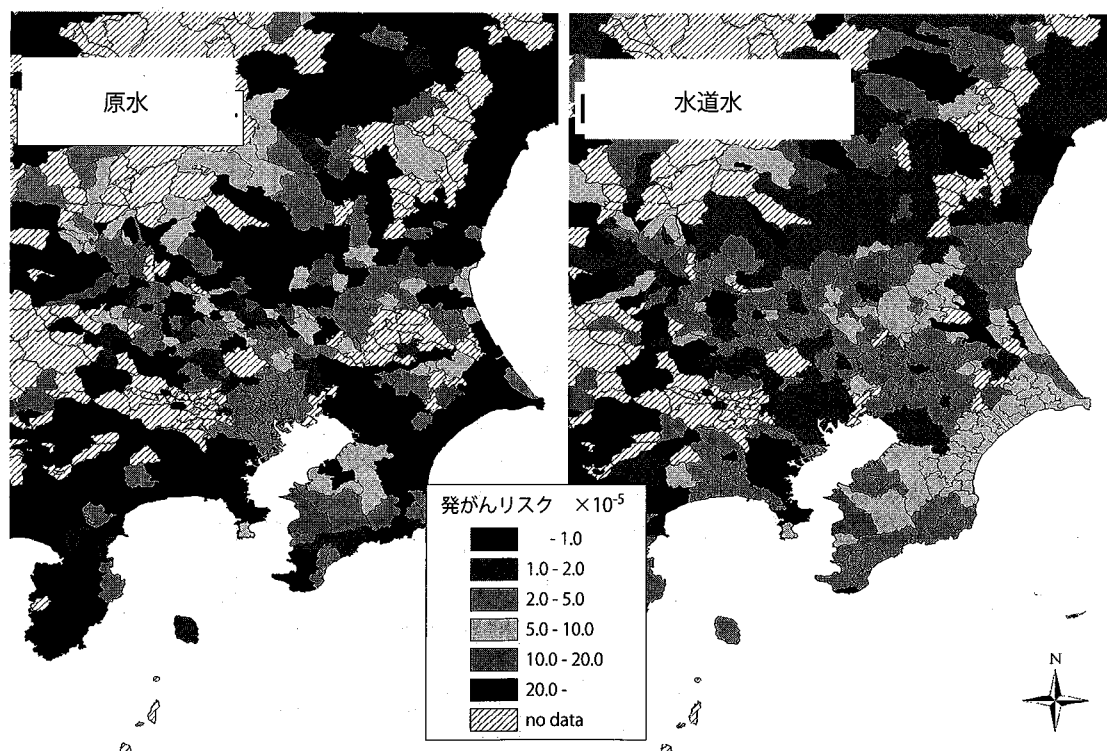


図1 首都圏の水道原水および水道水の発がんリスク分布

水道水の発がんリスクは、個々の発がん物質のリスクレベルを 10^{-5} として水質基準が定められているが、 10^{-4} オーダーの水道原水が存在している。さらに、その発がんリスクは消毒副生成物による寄与が高い。これは、塩素消毒によって発がん性を有するハロゲン化消毒副生成物が生成するためである。浄水処理によって、消毒副生成物の前駆物質の一部は除去されているので、浄水処理によって発がんリスクは低下していることは確かであ

る¹⁾。

水道原水としての公共用水域や地下水の状況、既存の水道施設の水質制御能力を考えたとき、良質で、違和感がなく、利便性障害の少ない水道水を利用できるようにするためには、浄水処理施設をレダントで、まさにマルチバリアーとしての機能を持たせたものとしなければならない。たとえば、今後の浄水処理のフローを選択要件との関係から示すと図3のようになろう。

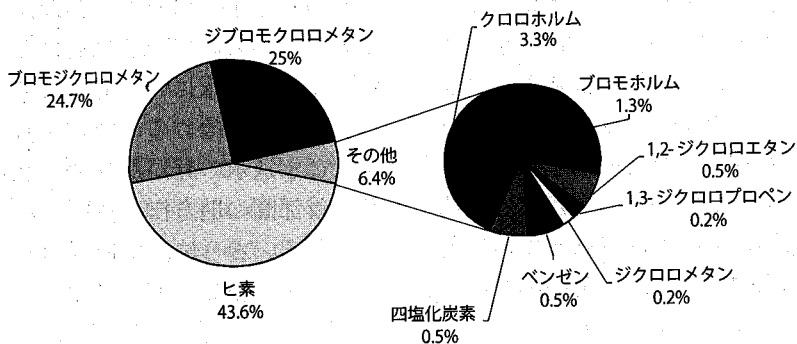


図2 水道水の発がんリスクの構成

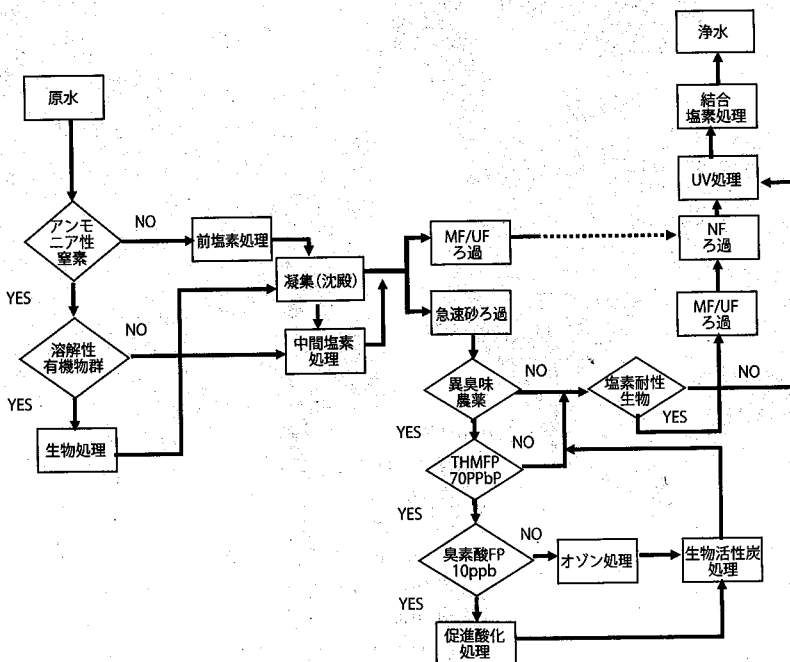


図3 浄水処理システムの構成

WHO飲料水水質ガイドラインが示しているように、水道は感染症対策としての意義がもっとも高い。また、ダム等停滞水域では貧酸素状態が生じると鉄やマンガンのような還元性無機物質が存在するようになり、それらの対策として浄水システム内は酸化条件の下にしなければならない。塩素等の酸化剤が用いられているが、塩素消費量のもっとも高い還元物質はアンモニア性窒素であり、その濃度変動が大きい場合には酸化反応条件の制御が困難になる。

また、アンモニア性窒素が高い原水では溶解性有機物質も多く、これらの溶解性有機物質は凝集剤として汎用されているアルミ系凝集剤と錯体を形成するなどして凝集反応を阻害する。この錯体となったアルミは浄水に残留することから利便上の障害を生むことがある。このような汚濁した原水では生物処理により、アンモニアや溶解性有機物を可能な限り低減化することが必要となる。なお、アルミ系凝集剤に比べて鉄系凝集剤は溶解性有機物の除去性が高いこと等から、鉄系凝集剤に転換する利点は大きいと考える。

濁質成分を除去する固液分離プロセスとしての凝集沈殿砂ろ過プロセスにおいて、ヒ素のような有害無機物質を除去するために、酸化剤の存在が必要であるため、塩素のような酸化剤を用いた酸化処理が必要になる。凝集沈殿砂ろ過プロセスに代わるMF/UFろ過は、クリプトスポリジウム等耐塩素性生物やピコプランクトンを完璧に分離できる技術であり、汎用浄水技術として扱われるべきものと考える。

砂ろ過やMF/UFろ過は固液分離処理プロセスであり、溶解性有機物質についてはその処理効果を実質的に期待することができない。植物プランクトン等が生産するジオスミンや2-MIBのような異臭味物質は活性汚泥法等の生物処理でも生産されることから、水資源を繰り返し利用している水域での障害が発

生する可能性が高い。農薬類は季節的に使用されているため、農薬使用時の水道原水中での濃度は高く、慢性影響の観点から健康影響リスク管理目標が設定されているものの、毎年使用されるものであるから季節的な変動を考慮して制御する必要がある。

水道水の発がんリスクは消毒副生成物の寄与が高いことから、消毒副生成物の生成能が高い水道原水では、その前駆物質であるフミン等溶解性有機物をオゾン・活性炭吸着処理によって除去しなければならない。水道原水中に臭化物イオンが存在するとオゾンにより発がん性の強い臭素酸が生成するため、このような場合には臭素酸が生成しないような促進酸化処理が適用されることになる。

異臭味、農薬、消毒副生成物、臭素酸等溶解性の有機物質や浄水処理過程で生成する副生成物を制御するためには、オゾン・活性炭吸着といった高度浄水処理システムを導入しなければならない。しかし、それらの代替システムとして、ナノろ過(NF)膜をベースにした水処理システムが導入される可能性が非常に高い。とくに欧州各国では、蒸発残留物などに起因する水処理上の課題が山積している国際河川ラインを水源とする国々を中心に、オゾン・活性炭からナノろ過膜処理へと転換しつつある。

NF膜ろ過は海水の淡水化で用いられている逆浸透膜の特性とUF膜ろ過の特性を兼ね備えている膜を用いた処理技術であり、一つのプロセスで溶解性有機物も無機イオンも除去できる。運転管理もMF/UF膜ろ過と同様に簡易で自動制御が可能であることから、人的資源の限界がある小規模な浄水場から導入されていくものと考えられるが、大規模な浄水場でもオゾン・活性炭吸着を補完する高度浄水処理施設として導入されるものと考えられる。NF膜ろ過はペットボトル水の生産工程にも利用されており、さらには中国の一部で整備されている給水拠点でNF膜ろ過処理し

た直飲水道水と常用水道水を供給する二元水道でも利用され、水道のような公共サービスでも適用可能なコストに耐えられるレベルに達している技術である。このようなことから、さらに技術革新が期待できる技術である。

感染性生物対策で今後とも有効なのは塩素処理であることは確かである。しかしながら、塩素剤は反応性の高い酸化剤であるため、水道原水中の有機物を低分子化して、生物資化性の高い有機物(AOC)を生成し給配水系での細菌の再増殖や、トリハロメタンやハロ酢酸等の健康影響リスクを有する有機物を生成する。また、塩素特有の臭気は水道水の不快さの原因にもなる。

ダムで貯留され植物プランクトンによる有機物質を含んだ水道原水の占める割合が高くなり、さらに河川上中流部の公共下水道等生活排水処理施設整備の遅れから、生活雑排水の影響を受けた水道原水ということになると、必然的に塩素消費物質が多くなり、塩素注入制御の困難さが高まる。結果的には、残留塩素濃度が高くなり水道水の快適性が損なわれ、同時に塩素消毒副生成物の濃度も高くなる。

このようなことから、浄水システム内で感染性微生物に対して十分なバリアーを構築した上で、給配水系でのリスク管理と塩素臭に対する違和感がない消毒技術として結合塩素処理が導入されることになる。遊離塩素処理を原則としている米国においてすら、ヨーロッパ諸国と同じように結合塩素処理に転換したり、転換することを決定した大都市水道も存在するようになってきている。

おわりに

水道の運営基盤の強化を図るために給水にかかるコストを低減化するとしても限界があり、公平で適正な費用負担を求めつつサービ

ス水準の向上をめざさなければならない。水道施設の更新を含めて水道事業を再活性化するためには、より効率的な事業運営を展開することが求められる。ISO/WD24512の附属文書として扱われることとなっている日本水道協会規格である「水道事業ガイドライン」は、水道事業サービスの実態をできるだけ定量的に評価できる137の指標を規格として示している。指標についての規格であり、規格に基づいてたとえば水質基準適合率という値が求められたとしても、いくらの値であれば適正、的確に水道事業が展開されていると評価できるものではない。

しかし、その指標を用いることで、水道水の発がんリスクのみを他の水道事業体と比較するのではなく、そのリスクの背景となっている水源、浄水コスト、人的資源、水道料金等の各種指標と合わせて比較することが可能となったのである。すなわち、自己評価するためのツールが規格となったのである。

つまり水道水の水質は、水質基準というナショナルミニマムは満たしているが、詳細に見ていくと地域的には大きな差異があり、その原因が何であるかを明らかにすることが可能となったのである。このようなツールを活用することによって、レダンドントな浄水技術を、これまでと同じように浄水施設で適用するか、あるいはブロックや給水拠点で適用することによって、上質な水道水と水質基準を満たす水道水を供給する多元水道の意義が明らかになるものと考ええる。

－ 参考文献 －

- 1) Ohno, K., Kadota, E., Kondo, Y., Kamei, T. and Magara, Y.; Estimation of geographical variation of cancer risks in drinking water in Japan, Water, Science and Technology : Water Supply, 6 (2), p.31-37, 2006