

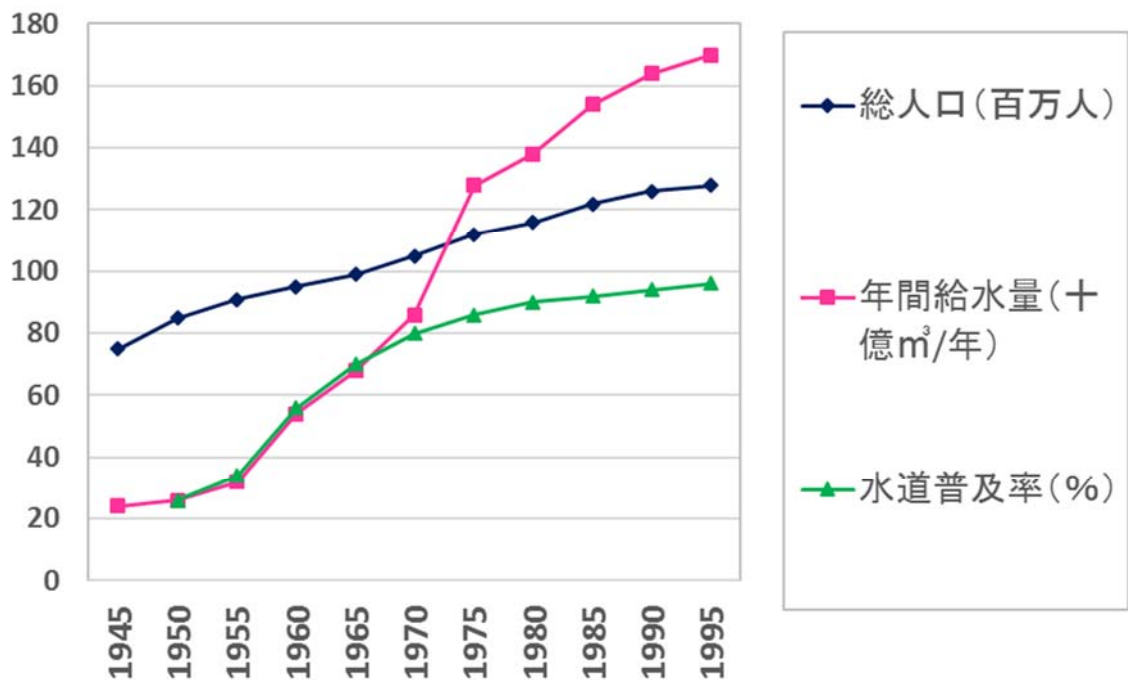
テーマ2. 上水道システム（水源から送配水システムまで）

目次

1. はじめに	T2-1
2. 水源の選定と浄水処理.....	T2-3
3. 表流水水源の調整と開発.....	T2-8
(1) 水利権	T2-8
(2) 表流水源の開発.....	T2-11
(3) 流域の保全	T2-16
(4) 塩水遡上の問題.....	T2-17
(5) 水道用水供給事業.....	T2-18
4. 浄水処理と水質管理の技術.....	T2-22
(1) 塩素消毒	T2-22
(2) 浄水方法の選定.....	T2-26
(3) 緩速ろ過技術.....	T2-27
(4) 急速ろ過技術.....	T2-29
(5) 高度処理技術.....	T2-34
(6) 膜処理技術	T2-36
(7) 再生水利用	T2-38
(8) 排水処理	T2-39
5. 地下水の利用と地盤沈下の防止.....	T2-41
(1) 地下水の取水.....	T2-41
(2) 地盤沈下対策.....	T2-43
6. 送配水システム	T2-44
(1) 配水システム.....	T2-44
(2) 配水管路	T2-46
7. 水道の技術管理と計画的整備.....	T2-49
(1) 施設基準の重要性.....	T2-49
(2) 設計思想の変遷.....	T2-49
(3) 計画的拡張の重要性.....	T2-50
(4) 認可と認可を補完する制度.....	T2-52
8. 教訓	T2-54

1. はじめに

上水道システムとは、ここでは水源からの取水、浄水、送配水及び給水を含む、水道水を利用者の蛇口まで供給するシステムと定義する。こうしたシステムが整備されたことから、日本の水道給水量は 1950 年代から急激に増大した。



出典：日本水道協会『水道のあらまし』第6版（2015年）p.21

図1 日本の年間給水量の推移

本教材は、水源の確保と水源に見合った浄水処理、水を輸送する送配水システム、技術管理などについて、開発途上国からの水道分野の研修員からよく尋ねられる、以下のような質問についての回答を念頭に、我が国の水道事業の経験を取りまとめたものである。

- （質問 1）日本では、安全な水を安定的、経済的に確保するためにどのように水源を選び、どのように施設の維持管理を行ってきたのか。
- （質問 2）経済発展に伴い増大する水需要に対してどのようにして新たな水源を確保していったのか。そして、他の水利用との間での衝突（**conflict**）をどのようにして調整したのか。水資源開発に係る費用分担はどのようになっているのか。

- (質問 3) 広域的な水源開発はどのように行われてきたか。水道事業体に水を供給する水道用水供給事業はどのように管理されているか。
- (質問 4) 経済活動の活発化により、水源水質も汚染の流入により悪化する。また、需要が増大すれば水質的に劣る水源を使用しなければならなくなる。日本ではこのような問題に、どのように対処していったのか。
- (質問 5) 日本の大都市でも経済活動の活発化により、地下水利用が増大し、深刻な地盤沈下が発生したということであるが、どのように克服したのか。
- (質問 6) 送配水管路の整備はどのような点に注目して行われてきたか。ネットワークシステムはどのような目的で導入され、どのような姿を目指したのか。
- (質問 7) 日本はなぜ計画的な水道施設の整備を重視するのか。どのようにして必要な水準の水道施設を確実に整備しているのか。マスタープランはどのような役割を果たしていて、どのようにして作るのか。

質問 1 については「2. 水源の選定と浄水処理」、質問 2 については「3. 表流水水源の調整と開発」の (1) (2) (3) (4)、質問 3 については「3. 表流水水源の調整と開発」の (5)、質問 4 については「4. 浄水処理と水質管理の技術」、質問 5 については「5. 地下水の利用と地盤沈下」、質問 6 については「6. 送配水システム」、質問 7 については「7. 水道の技術管理と計画的整備」において、それぞれの詳細を説明する。

2. 水源の選定と浄水処理

水道水源は、河川上流など汚染されていない良好な水源を求めることが望ましい。我が国では、第二次世界大戦後、特に中小規模の水道において、良質な水源の確保に努めてきたことによって、財務負担能力、人材、技術力等の制約があっても飲料水の水質を良好に維持することができた。しかし、水道の規模が大きくなると、水量の多い河川下流からの取水を行うことも必要となり、それに見合った浄水処理方法の選択が必要になった。

水道水源の理想は、汚染されていない水を探して、そこから取水することである。このため、日本でも高度経済成長期より以前の水道の多くは、水源の水質が良好で水系伝染病のリスクが小さい上流域の河川水や湧水、地下水を水源とし、緩速ろ過など必要に応じて適切に選定された浄水処理を行う方法であった。現在でも、水源に目を配る人材を十分に配置したり浄水処理に高度な技術を採用したりすることが難しい技術的基盤の弱い簡易水道（計画給水人口 101～5,000 人の水道事業）は、このような水源を求めることを前提としている。

しかし、都市部の水道システムは、大量の水を必要とする。都市の人口の増加や産業需要が増大するにつれて、水源として都市に比較的近く大量の取水が可能な河川の下流を選択せざるを得なくなる。河川の下流では、都市や流域の発展に伴って水源が汚染されるリスクが大きいため、このようなリスクに対応できる浄水処理が必要となる。このため、大量の浄水処理が少ない施設面積でできる急速ろ過が必要となる。

我が国では、水需要が急速に増大した高度経済成長期に、特に大規模な水道事業者において、需要増に対応するため、大量取水が可能な大河川の下流に取水地点に移行した。これにあわせて、浄水処理の方法も、大量の処理を効率的に行うことができ、かつ、不連続点塩素処理と組み合わせることにより、汚染された水源にも対応可能な、急速ろ過方式が多く採用されるようになっていった。また、地下水の過剰な汲み上げによって地盤沈下等も発生する。こうした人口増加に伴う取水量の増加という問題に対し、安定した水量を確保するため、水道事業者とそれ以外の利用者が、連携してダム開発を行ってきた。現在では、水道水の約半分は、ダムを水源としている。

緩速ろ過に適した水源の例。比較的汚染が少なく濁度の変化も極端になりにくい上流域の河川等で有効である。



緩速ろ過方式による浄水場。手前にあるのはろ過砂を洗砂するための設備と洗浄後の砂。



写真1 岩手県盛岡市 米内浄水場

（上流に位置する浄水場。汚染されていない水源から取水し、緩速ろ過により浄水処理して供給している。2010年（平成22年）11月23日撮影）



写真2 東京都水道局金町浄水場

(河川の下流を水源とした、急速ろ過、高速凝集沈殿池、高度浄水処理施設を備える浄水場。民間資金により整備した常用の発電設備を有している。2004年(平成16年)4月4日撮影)

講師の方へ：

開発途上国の水資源は極めて多様で、国や地域によって大きく異なります。例えば、河川については、乾季に大幅に流量が減少し、全ての水がなくなる河川や濁度変化の激しい地域も多いです。水源として雨水を簡単なため池や水がめに溜めて利用している地域や、横井戸を掘って利用している地域もあります。浅井戸が多く利用されていますが、汚水処理システムが不完全で、浅層地下水が汚染されていることも多くあります。湧水も取水施設で汚染をきちんと防ぐ保護がなされておらず汚染されてしまう場合や、乾季に著しく流量が減少する場合があります。特に乾季と雨季が完全に分かれている国の水資源管理は我が国と異なりますので¹、相手国の水資源の特徴を理解する必要があります。

また、浅層地下水や湧水は利用しやすい水源であり、途上国でも広くもちいられています。湧水は水質が良く、ある程度高いところにあり、自然流下で水を配水できるので、良い水源ですが、湧水の集水施設のところで汚染をきちんと防ぐ機能がなく、汚染してしまう場合がありますので水源付近の汚染管理、涵養域の保全等をしっかり行うことが必要です。

¹ 山本敬子氏

【コラム】公共用水域の環境基準

我が国では、水道事業認可の際に、原水水質の年間変動を提示させて、水道原水として妥当かどうかを確認し、浄水方法の審査を行っている。かつては水源水質と浄水方法が妥当でなければ、水源の変更の指導も含めて行っていた。

こうした認可の手続きにおける水質の判断は、現在の水質汚濁に関する公共用水域の環境基準で定められた水域類型の水道1級（ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの）、2級（沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの）、3級（前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの）の類型区分の基になっている²。環境基準は、水道原水として適した水質の目安を明らかにし、そのような水質が達成できるように公共用水域の水質保全を推進するために設定されている。こうした水源と環境を共に保全する考え方は、今後、水源の確保と水環境の保全を両立するために参考となる。

表1 公共用水域環境基準

(1) 河川（湖沼を除く。）

項目 類型	利用目的の 適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	生物化学的 酸素要求量 (BOD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道1級 自然環境保全 及びA以下の欄 に揚げるもの。	6.5以上 8.5以下	1mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	50 MPN/100mL 以下
A	水道2級 水産1級 水浴 及びB以下の欄 に揚げるもの。	6.5以上 8.5以下	2mg/l 以下	25mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1,000 MPN/100mL 以下
B	水道3級 水産2級 及びC以下の欄 に揚げるもの。	6.5以上 8.5以下	3mg/l 以下	25mg/l 以下	5mg/l 以上	5,000 MPN/100mL 以下
C	水道3級 工業用水1級 及びD以下の欄 に揚げるもの。	6.5以上 8.5以下	5mg/l 以下	50mg/l 以下	5mg/l 以上	—
D	工業用水2級 農業用水 及びE以下の欄 に揚げるもの。	6.0以上 8.5以下	8mg/l 以下	100mg/l 以下	2mg/l 以上	—
E	工業用水3級 環境保全	6.0以上 8.5以下	10mg/l 以下	ごみ等の浮 遊が認めら れないこと。	2mg/l 以上	—

² 眞柄泰基氏

(2) 湖沼（天然湖沼及び貯水量が 1,000 万立方メートル以上であり、かつ、水の滞留時間が 4 日間以上である人工湖）

項目 類型	利用目的の 適応性	基準値				
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的酸素 要求量 (COD)	浮遊物質 量 (SS)	溶存酸素量 (DO)	大腸菌群数
AA	水道 1 級 水産 1 級 自然環境保全 及び A 以下の欄 に掲げるもの。	6.5 以上 8.5 以下	1mg/l 以下	1mg/l 以下	7.5mg/l 以上	50 MPN/100mL 以下
A	水道 2、3 級 水産 2 級 水浴 及び B 以下の欄 に掲げるもの。	6.5 以上 8.5 以下	3mg/l 以下	5mg/l 以下	7.5mg/l 以上	1,000 MPN/100mL 以下
B	水道 3 級 工業用水 1 級 農業用水 及び C 以下の欄 に掲げるもの。	6.5 以上 8.5 以下	5mg/l 以下	15mg/l 以下	5mg/l 以上	—
C	工業用水 2 級 環境保全	6.0 以上 8.5 以下	8mg/l 以下	ごみ等の浮 遊が認めら れないこと。	2mg/l 以上	—

出典：水質汚濁に係る環境基準 別表抜粋

講師の方へ：

途上国では上流域でも動物や家畜による汚染がみられます。水源近くの森林を薪や炭などに使うために伐採し、水源上流に土砂の流入が起これ、濁度が高くなることも頻発しています。また、砂利採取による河川の汚れも発生しています。表流水を取水して水道水源とする場合、その水質に応じて浄水処理が変わりますので、河川の水質を把握しておくことは重要です。

3. 表流水水源の調整と開発

(1) 水利権

我が国では、河川水を秩序だてて利用するために、古くからの慣習も取り込んで水利権の制度を法的に定め、これに基づいて関係者間での利害の調整を行う体制が確立した。

表流水は大量の取水に向いているため、大規模水道の水源として非常に重要である。しかし、同様に大量の水を必要とする他の利水者、すなわち農業用水や、水力発電用水等との競合となりやすく、利水調整が必要となる場合も多い。我が国においても、特に大きな河川では水利権制度を中心とする利水調整の仕組みが機能している。

我が国は工業化される前は水稻農業を中心に発達しており、古くより多くの水争いを経験してきたため、利水調整の重要性が早い段階で理解されていた。1896年（明治29年）の旧河川法の段階で、すでに基本的な「河川の流水を占有する権利」、すなわち水利権の概念ができ、1961年（昭和36年）には、ほぼ現行の水利権の制度が完成している。



写真3 相模川水系水資源開発の城山ダムと津久井湖。水道水源でもある多目的ダム
2009年（平成21年）12月19日撮影

我が国の河川は比較的延長が短く、限界まで利水されていることが多いため、需要の増大に対応して河川からの取水可能量を増やすためには、ダムを整備が効果的であった。しかし、コスト負担が非常に大きいため、多目的ダムとして多くの用途を附して、利用効率を高めることが求められた。このためにも、生活用水取水、灌漑用水取水、治水、発電などに関係する各組織の間で適切な費用分担を行うこと、及び水資源開発の主体となる行政組織と連携することが必要であった。

水利権制度を整備する際には、旧河川法の制定前から概ね社会的に認められていた水の利用を慣行水利権と称して、水利権の許可を得たものとみなすという形で、古くからの農業水利等に配慮して一定の妥協が図られている。しかし、慣行水利権は既得権益となり、慣行水利権のほかに新たな水利権を獲得するためには巨費を投じて新たにダムを建設する必要が生じる等、その後の水源開発において現在まで課題として残っている。

利水調整においては、利水者だけでなく、河川の持つ治水や水運、環境維持等の機能を管轄する河川管理者等も含めて、時間をかけてでも適切に合意を形成することが重要である。流域間の利害が対立するなかで、合意できるところから少しずつでも合意を形成していくことで、最終的に流域全体の中で合意形成を図ったような例もある³。また、水源地对する下流の利水者からの継続的な政策的支援は、合意の形成のために有効であった。

【事例】香川用水における総合開発を通じた利水調整

香川用水は香川県を中心に、徳島県、愛媛県、高知県にまたがる吉野川総合開発事業によって建設された。香川県は古来より慢性的な水資源不足であり、吉野川の水を導水することは香川県の悲願であった。一方、徳島県は洪水が生じがちではあったが、吉野川の水を利用していただけのため、香川県に分水する計画に対しては慎重な姿勢を示した。ダム建設地となる高知県からは、どちらかというとな積極的な回答は得られなかった。一般に、流域と行政界を超えた水の融通は大きな困難が伴い、香川用水でも四県同士の協議では話がまとまらず、以下のプロセスを経て合意形成に至ることができた。

- ① 1950年（昭和25年）、4県の県同士の話し合いではまとまらなかったため、国（建設省⁴）が関与し、合意形成の努力が行われた。
- ② 具体的には、各県の利害ではなく4県が位置する四国地域全体の開発という一段上の視点を取り入れ、利水のみならず、治水、食料確保、電力需要対応等の総合的観点か

³ 国際連合教育科学文化機関『河川流域における総合水資源管理（IWRM）のためのガイドライン』（2009年）

⁴ 現在の国土交通省

ら議論が進められた。当時は高度経済成長期であり、経済開発の中心となっていた本州とは異なる島に位置する四国の開発が取り残されるのではないかという危機感が関係者に共有されていたため、四国地方の開発との共通の土台の上で議論をすることについては合意を得ることができた。

- ③ 1960年（昭和35年）に計画を推進するための法律「四国地方開発促進法」が策定され、国会議員、各行政機関、関係県知事、学識経験者等から成る「四国地方開発審議会」が設置され、この下で、水配分調整、費用負担、事業主体（現 水資源機構）が決定された。利害の対立する中で調整は厳しいものであったが、吉野川総合開発事業は利害調整の方法を議論した結果、関係者の合意に達し、1975年（昭和50年）、早明浦ダム、池田ダムおよび香川用水が完成した。
- ④ その後も、関係行政機関等により、ここまで調整にかかわってきた吉野川水系における各関係利水者の水利用等について総合的に協議し、水利用の円滑な運営に資することを目的して「吉野川水系水利用連絡協議会」が設立された。また、環境用水の確保等、その後も社会からの要請の変化が生じれば、これに応じて不断の調整を行い、必要な事業を行う努力がなされている。



図2 四国の水源位置

講師の方へ：

開発途上国では、利水調整を行う組織がない、あるいは機能していないといったケースが多く見られます。その結果、水道水源の上流に農業用や発電用のダムができて流量が変化したり、上流での汚染の排出により水道の取水に支障をきたしたりするようなケースも見られます。さらに、水源河川が国際河川の場合には、上流国の水源開発が国家間紛争の原因になるケースもありますし、連邦国家の場合は州をまたぐ河川で同様の紛争が起こることがあります。

途上国の実態は日本とは異なることが多いので、日本の経験が必ずしもそのまま適用できるわけではありませんが、日本でも利害調整を行いながら水源開発を進めた事例として参考になると思われます。

(2) 表流水源の開発

我が国では、増大する水道需要に対応して水源からの取水可能量を増やすため、利水、治水、環境保全等の総合的な観点から行われる国家主導の河川総合開発事業のもとで、多目的ダムを中心とした水源開発が行われた。これによって、水道事業者の費用負担を抑えつつ、水道水源を確保することが可能となった。

我が国における河川総合開発は、1930年代（昭和初期）に内務省により提唱された、治水、灌漑、発電を統一した事業とする「河水統制計画」が最初の取り組みである。ダムの整備や河川開発等により、降雨の変動による災害の危険を減ずるとともに、河川水流の変動分をストックして水資源として有効利用することがその基本的な考え方である。この計画は、米国のテネシー川流域開発会社（TVA）等の影響も受けながら、1937年（昭和12年）に「河水統制事業」として開始され、全国の主要河川の調査の後、最初に7河川が対象となった。1951年（昭和26年）にはこれを受け継ぐ形で現在の河川総合開発事業が開始され、同時期、国土総合開発法等、河川開発関連の法律があいついで整備されている。

この時期、我が国における河川開発は治水が中心であった。資金力のあった東京都では、水道専用の貯水のために小河内ダム（1957年（昭和32年）竣工）を整備しているが、このような一部の例外を除いて一般的な水道事業者には専用ダムを作るだけの財政能力はなく、農水や治水等、他の目的とあわせての水資源開発が実施された。

その後、高度経済成長期にさしかかり、経済活動が活発になると、農業、工業、水道等、あらゆる水利用の量が顕著に増大したため、これに対応するための水源開発の必要性が高まり、多目的ダムが建設されるようになった。これは、水道事業のみでダム建設の多額の費用を負担することが困難であったことと、治水や農水、水力発電等も含めた水需要の増大に対応するために総合的で効率的な水資源開発が必要であったためである。この実施主体は水資源開発公団（現水資源機構）であり、1961年（昭和36年）の水資源開発促進法の施行に伴い設立された。ダムの建設費用の一部および維持管理は水道事業者も負担をしている。また、産業の発展や都市人口の増加に伴い、広域的な用水対策を実施する必要がある主要な7つの水系に対して水資源開発基本計画（フルプラン）を策定した上で、これに則って、ダムや水路、関連施設を統合的に建設、管理することとなった。このようにして、それまで個別に進められていた、建設省の治水、農林水産省の農業用利水、厚生省の水道水源確保等の事業の統合が図られ、水源の確保が全国で進むようになった。治水は原則として100年に1回程度の洪水に対応できる容量（水系によっては50～200年）、利水は10年に1回程度の渇水に対応できる容量を目標とする整備水準とし、互いに妥協できるダムの容量や運用ルールを決定してきた⁵。

ダムの貯留水の利水者は、特定多目的ダム法あるいは水資源開発公団法の定めに基づいて、国土交通大臣または都道府県知事の裁定に従い、建設費用のうち応分を負担しなければならない。住民移転等の環境社会影響も発生することから、漏水の削減等、水道としての水供給の効率を高めることも併せて行うことで、ダム建設を抑制することの重要性が認識されるようになった。また、節水啓発、節水器具の普及などの需要管理のため、日本では水道事業者が節水コマ⁶を無料で配布するなどの対策を講じており、水源開発の負担を抑制している。さらに、水道料金、下水道料金が使用水量に応じて賦課されていることが、結果として、顧客側に節水型トイレなどの節水器具購入のインセンティブとして働いている。

このようにして、総合的な水資源開発と水の有効利用が進められた効果、多くの地域において水道水源の不足を原因とした断減水は大幅に減った。1990年代以降、需要が頭打ちになると、環境社会影響が大きく、コストもかかるダムによるさらなる水源開発の是非が問われ、一部、事業を中止するダムも出てきている。さらに、水需要が減少に転じた現在、水道事業者が負担するダムの水利権負担金（水利権によって分配されているダムの維持管理費用の負担金）が水道経営にとって重荷になるなどの課題も出てきている。

⁵ 眞柄泰基氏

⁶ 節水コマは、水資源を節約するための節水器具の一つである。水道蛇口に取り付け、水流を阻害することによって、水道蛇口半開時の水量を5～10%程度削減することができる。

【事例】東京都水道局による水源開発（小河内ダム、オリンピック渇水）

東京都の水道は、第二次世界大戦末期の東京への空襲により、主に需要者が大きな被害を受けたことによって、大幅に需要が減少した。しかし終戦後、復興が進むにつれて一転して需要が急増し、これに対応するため、各種の拡張事業が急ピッチで進められた。水道専用の小河内ダムは、1938年（昭和13年）に起工して戦争により1943年（昭和18年）に中断していたがこれを再開し1957年（昭和32年）に竣工している。

1960年代前半以降、首都圏では高度経済成長による産業と人口の集中、水洗トイレの普及等が急激な需要の増大に拍車をかけた。この結果、1958年（昭和33年）からは毎年のように渇水が発生し、そのピークは東京オリンピックが開催された1964年（昭和39年）で、大規模な給水制限を経験した。このような水不足に対して、他県の水源から水を融通してもらうことにしたが、そのための利害調整が困難を極めた。そのようにして利根川系と多摩川系を結ぶ原水連絡管を整備、荒川の余剰水を東村山浄水場へ緊急導水することで渇水の危機を乗り切ることができた。さらに、1965年（昭和40年）には利根川と荒川を結ぶ武蔵水路が通水、これにより、利根川水系の水源開発を東京都の水源として利用する体制が整い、水源不足を抜本的に解決するための悲願が達成された（図3、写真4参照）。

また、国が中心となって多目的ダム開発を推進し、東京都もそれに対して多額の費用を負担した。しかし、他の利水者や治水事業と費用を分担することができた。東京都の費用負担分は、そのほとんどが企業債の発行で賄われ、一時は料金収入の60%以上を企業債の償還に充てるほどであったが、水源開発費用も織り込んだ水道料金を設定し、資金調達を行った。このように水源開発に苦勞したため、東京都は漏水対策を徹底した⁷。

⁷ 東京都水道局「水道事業紹介 東京水道100年の歩み」
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suido/jigyotarikumi/kadai/step21/02.html>



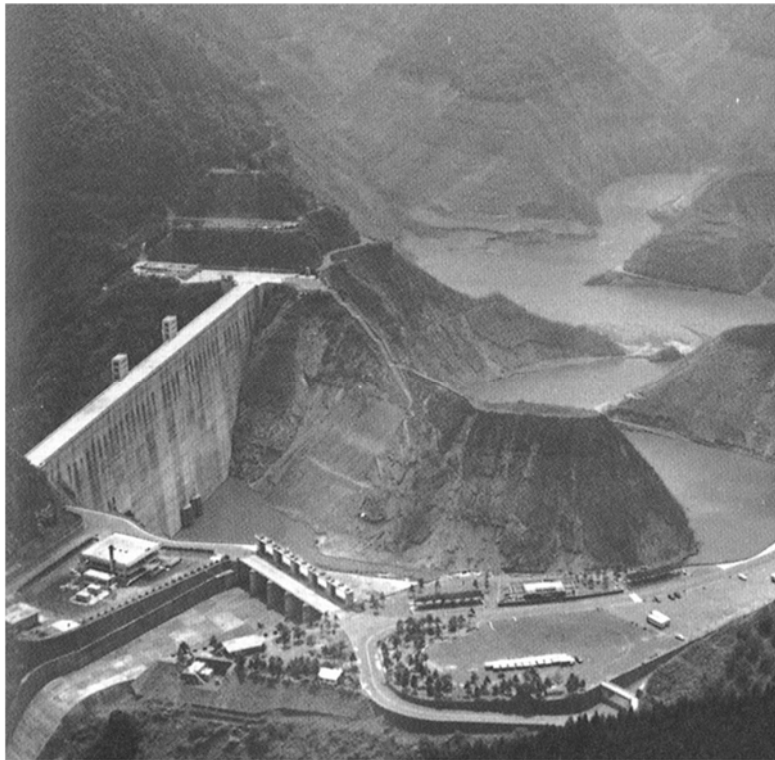
出典：東京都水道局『わたしたちの水道』

https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kids/study/images/study_13-14-15-16.pdf

図3 東京都の位置と水道水源



写真4 利根大堰（武蔵水路の取水施設）2010年（平成22年）11月19日撮影



出典：JICA 「The Challenge of the Tokyo Waterworks」『課題別研修 水道管理行政及び水道事業経営（A）テキスト』

写真5 水のなくなった小河内ダム

講師の方へ：

水源開発のためのダム整備には巨大な投資が必要であるため、水道需要を主目的とした単独目的のダムの開発が難しいことは途上国でも我が国と同様です。水源開発については「事例2.水源確保：淀川水系、沖縄県、福岡市」の教材に事例を掲載しています。

(3) 流域の保全

我が国では、水道としての努力だけでなく、流域全体で水質を改善するため、地道な保全活動（排水規制と下水処理場の整備、水源林保全等）を行い、長期間かけて原水水質の問題を改善していった。

安全な水を確保するためには水源の水が安全な水であることが第一である点はずで述べたとおりであるが、そのためには、水源の存在する流域の保全も、水道において重要な関心事である。

水源の水質を維持するためには、流域全体で排水（生活排水、産業排水、農薬や肥料等の流出等）を制御して水質を保全すること、水源域を適切に管理すること、突発的な水源事故対策に備えることなどが重要で、これらの総体的な施策に長い期間をかけて地道に取り組んでいく必要がある。このために、我が国でも様々な施策がとり行われており、さらに、現在でも取り組みが続いている。

まず、流域全体での排水の制御で見ると、1970年（昭和45年）に制定された水質汚濁防止法による産業への排水水質基準の徹底が、結果として排水の排出量そのものを削減させることとなり、流域の水質改善に大きく寄与した。また、同年の下水道法の改正により、下水道の目的に、それまでの都市下水の排除に加え、公共用水域の水質保全に資することが加えられたことにより、下水処理場の整備が進み、家庭からの汚濁負荷による環境水質の改善に寄与することとなった。また、水道原水の水質悪化に対して水道側から関与出来る法的根拠として、1994年（平成6年）に水源2法（「特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法」「水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律」）が整備されており、水道事業者として、流域の水源維持に直接関与できる法的根拠も整備済である。

一方、水源地域の保全活動は、ダムなどの水源開発での関係に端を発しており、水源林の保全への支援の形で、地域ごとの方法で、継続的に行われている。このような活動全般を根拠付ける基本法として、2014年（平成26年）に水循環基本法が整備されたことで、地下水も含めた水循環全体の保全がさらに体系的に推進されるようになることが期待されている。

このように、我が国では、縦割りの的ではありながら、一方で、それぞれの省庁がそれぞれに一生懸命水質改善に取り組んでいる。上流ではダムをつくり、排水処理をし、中流域は節水により産業排水や生活排水を減らし、下水道等水質保全対策を促進した。下流域で

は高度処理と節水社会を進める。これらの包括的な活動の結果として、流域全体で水質がよくなり、リスクが下がった⁸。

また、水道事業体側も、流域における突発的な汚染事故への対応力を高めるため、大規模な河川においては、流域の水道事業体間でホットラインを設け、油や薬品等の水源への流入事故情報を早期に察知し危機対策をとれるようにしているほか、水安全計画の策定によるリスク要因の見極めとその削減策が推進されている。

(4) 塩水遡上の問題

河川の下流での取水には水源の塩水化の問題が懸念される。我が国ではこの問題には河口堰により対応した。

河川の最下流域での取水は水量を確保しやすいメリットがあり、特に海に面した都市の水道システムにおいては他に方法がない場合も多い。しかし、河口部で河川水を取水する場合には、海水の影響を受ける可能性がある。

我が国においては、河川の最下流で取水する場合には、塩水遡上の防止や取水の安定のための河口堰を設けることが一般的である。日本の都市水道の多くは河川の下流取水に依存しているが、これらの大部分は河口堰を伴っている。河口堰の整備にあたっては、河川管理者を交えた協議を行うとともに、海運や漁業との調整が必要であった。

河口堰のない河川において塩水対策をする方法については仮設の堰やゴム製の簡易な可動堰等の方法を用いている事例がある（京都の由良川、佐賀県伊万里市など）。

講師の方へ：

開発途上国においては、地球温暖化による海面上昇、利水量の増大による河川流量の減少等の複合的な要因により、特に海岸部の大都市の河川下流の水源において、塩水化が広く問題になっています。

開発途上国では、河口付近での船舶利用が多く、河口堰の建設は難しいとされていますが、我が国で試みた可動堰等、検討する余地はあります。

⁸ 玉井義弘氏

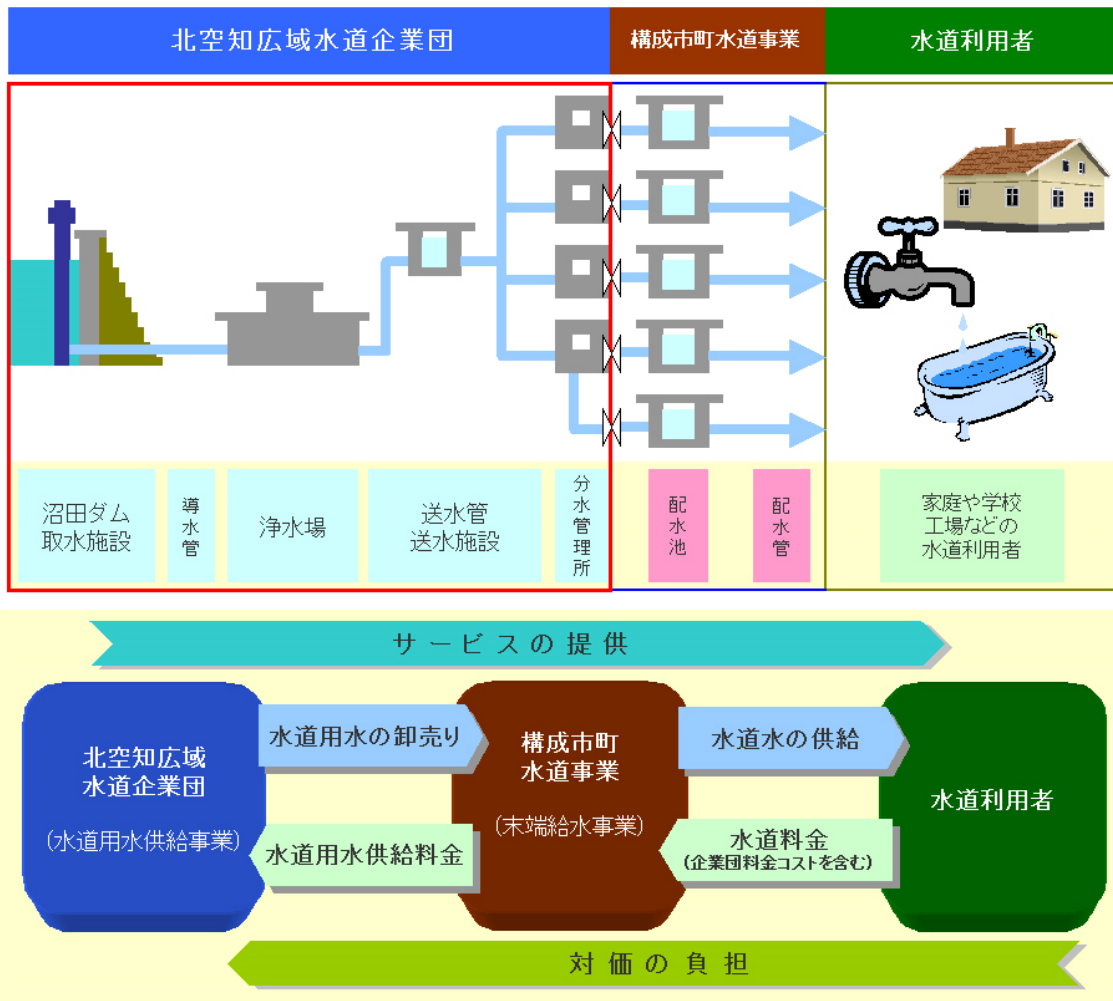
(5) 水道用水供給事業

日本では、複数の市町村、あるいは県及び市町村が共同で組織した企業団や県企業局が大規模な水源を開発し、広域的に複数の水道事業体に対して水道用水を供給する用水供給事業が、水源の確保と投資コストの低減に貢献した。

大規模なダムからの取水に必要な負担金は多額であるため、水道事業を運営する市町村が単独で負担することはしばしば困難であった。そのため、利水する複数の市町村が企業団を組織し、ダム開発に参加して、水道用水供給事業を行う例が多数ある。水道利用を目的とした水源開発に係る費用の1/2または1/3に相当する補助が、国庫により負担されている。用水供給事業者は、県や市町村が共同で組織した企業団など公的機関であることが前提であり、水源開発事業は公的資金で賄われてきた。開発途上国で見られる民間資金によるバルクウォーター事業者は、日本では見られない。

水道用水を供給する事業制度は、もともと、水道事業そのものの大規模化（広域化）により、水源を確保するだけでなく、経営効率の向上や、地域の水道サービスの水準を引き上げようとして、英国を先例として推進したものである。しかし、日本では、十分な水源を持つ自治体と持たない自治体で格差が大きく、市町村経営の原則もあって、必ずしも理想どおりに水道事業の統合が進まなかったため、水源確保、水道用水の供給の部分だけを先行して共同化する形で、用水供給企業団が設立されていった。

水道用水供給事業または広域的水道により、大規模な水源を共同で開発し、広域的に事業を展開することは、水源確保の側面で見れば、水源の安定化や維持管理コストの低減につながった。しかし、水道用水供給事業により用水供給と配水事業を分離したことによって、用水供給量が長期に固定される一方で、個々の受水事業体における水需要が計画ほど増加せず、ダム等の水源施設や浄水場等の稼働率が低下し、経営上の重荷になっているケース、用水供給部分が切り離されることにより末端水道事業体の組織が小型化して、技術力の低下や人材不足につながっているケース等も見られるようになった。このような経験から、用水供給と配水事業を分離するよりも、用水供給と配水を一体として広域化したほうが望ましいと考えられている。

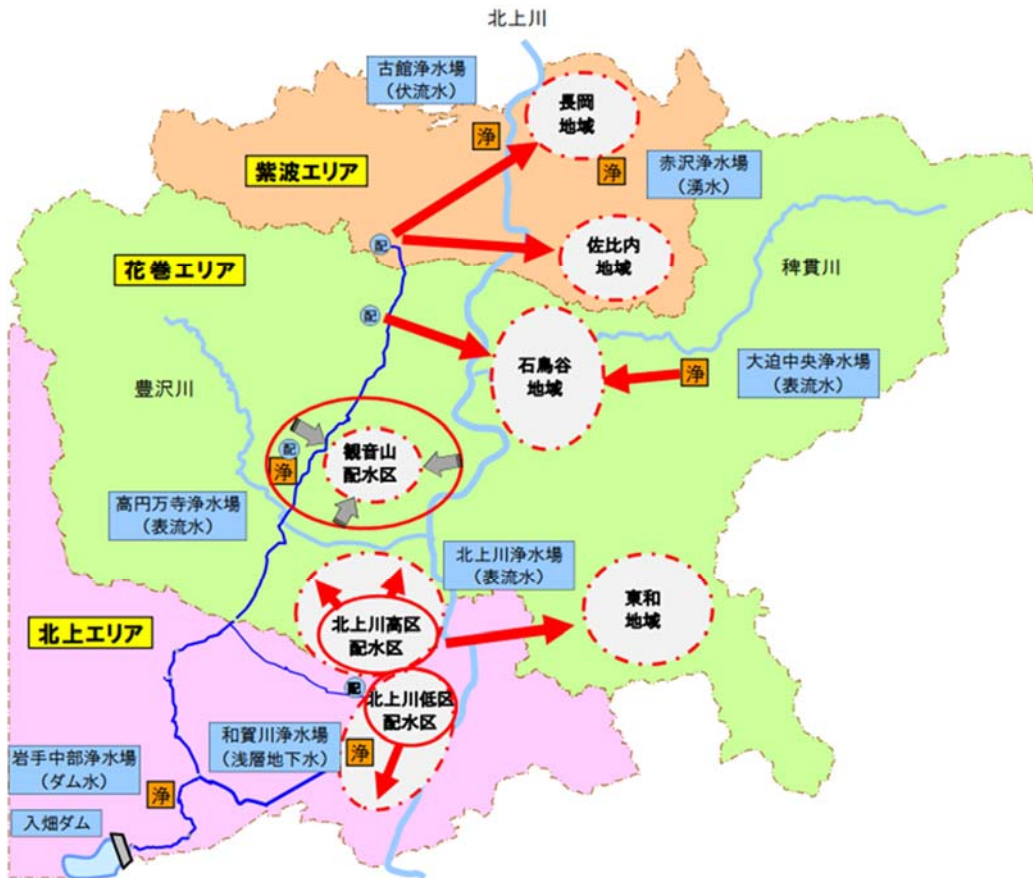


出典：北空知広域水道企業団「水道用水供給料金について」<http://www.kitasorasui.or.jp/ryoukin.html>

図4 水の流れと水道料金負担の概念図

我が国における水道の広域化は、これまで、主として水道用水供給事業を足がかりにして進められてきたが、近年、岩手中部水道企業団のように、市町村の自主的な話し合いによる水道事業統合を行ない、広域的に水源の効率的運用と配水系統の見直しを行うなど、水道用水供給事業に頼らない広域化が進められるようになった。

■配水システムの再編・見直し



出典：JICA「Extensive Waterworks System in Iwate Central Region by vertical and horizontal integration」『課題別研修 水道管理行政及び水道事業経営（A）テキスト』

図5 水道統合の例

（岩手中部水道企業団は、地域の水道の統合を行ない、施設の統廃合、より有利な水源の活用、送水管路ループ化による管路事故等のリスクの削減を推進している事例である。）

講師の方へ：

開発途上国においては、ダム等による水源開発に多額の投資の資金を確保することが非常に困難です。そこで、民間業者が水源開発と浄水処理に特化して用水供給を行い、公共水道を顧客とすることで投資回収の確実性を高め、この確実性により、必要な資金をマーケットより調達するビジネスモデルがあります。このような民間の水道用水供給業者を、bulk water supplier（バルクウォーター・サプライヤー）と称しています。

途上国のバルクウォーターと同じ形態の民間用水供給事業は我が国には存在しませ

ん。これは、水源開発に関わる資金が公的資金で賄われたためです。十分な公的資金の調達が期待できない開発途上国において、バルクウォーターは資金調達の制約を緩和して水源開発、水道整備を推進する効果があります。しかし、民間資金は投資回収を第一とすることから、高コストな水を長期にわたって購入することを強いられるリスクもあります。よって、バルクウォーターから用水の供給を受ける場合には、事業者の取水計画、施設計画、資金計画を精緻に検討し、経営、水量、水質等、各側面のリスクが十分に制御されているかを、よく確認する必要があります。

4. 浄水処理と水質管理の技術

(1) 塩素消毒

我が国では、公衆衛生の確保のために水道水の安全性を重視し、最も確実な消毒法として塩素消毒を徹底することによって、水系感染症の抑制に成功した。

水道は公衆衛生のための施設であり、水道水の安全は、水系伝染病の流行を防ぐなど公衆衛生を維持するための最も重要な要因の一つである。塩素消毒は、高度な技術や多量の電力などを必要とせず確実に水系感染症を撲滅する効果をもたらすことができるため、途上国においても極めて重要な技術である。

我が国では、明治期においては、水道の衛生確保の技術がまだ確立していなかったため、水道が感染症を伝播、拡散してしまうような場合もあった⁹。1922年（大正11年）に東京市水道局の淀橋浄水場で施設清掃の際など最初の塩素消毒が実施されたが、設備が導入されたのは一部の水道施設のみであり、水系感染症が流行った時にのみ消毒が実施されるにとどまっていた。

1945年（昭和20年）の終戦後に衛生状態が悪化し、その対策として塩素消毒の有効性が確認された。このため、日本の占領政策を取り仕切った連合国軍最高司令官総司令部（GHQ¹⁰）が衛生的な環境の確立を重視して塩素消毒を徹底するよう指導を行い、塩素剤の提供を含む支援を強力に推し進めた。

また、終戦後から1950年代にかけては、海外の占領地から兵士が帰国したことにより、海外から持ち込まれた赤痢が各地で流行し、その原因が水であることは国民にも理解されていた。赤痢が不安で水道整備に反対するような、やや本末転倒ともいえる運動もみられるような状況もあった。そこで、1958年（昭和33年）の水道法制定に際して、水質基準とは別に、水道法施行規則第17条において、衛生上必要な措置として塩素消毒が明確に義務化され、「公営水道」は安全であることをアピールする政策がとられた。この結果、水系消化器系感染症発生が激減し、公衆衛生の基礎が確立することとなった。

高度経済成長期には、地方部でも、都市部で使用されていた当時は十分に処理できない浄化槽の普及によりトイレの水洗化等が進み、その排水が環境へ流出するようになったことで表流水が汚染され、水道の未普及地域を中心として、下痢や食中毒、さらには水系感染症が流行しやすくなった。このような状況への対策としても、未普及地域への水道整備

⁹ 竹村公太郎『日本文明の謎を解く—21世紀を考えるヒント』清流出版（2003年）

¹⁰ 連合国軍最高司令官総司令部（GHQ）は、1945年（昭和20年）8月の第二次世界大戦の終結に伴い、日本に設置された連合国による占領政策の実施機関である。

が後押しされることとなった¹¹。

塩素消毒の徹底は、安全な水道水の供給に大きく貢献してきたが、一方で消毒よを生成させたり、管路等の設備の腐食を早めたりするデメリットもある。

気体の塩素は作業員が吸引すると死亡する可能性があること、注入設備の配管等を腐食させるため漏洩しやすいことなど、保存・管理が難しいため、我が国では、次亜塩素酸ナトリウムが利用されるようになった。しかし、次亜塩素酸ナトリウムは、反応性が高く、劣化しやすいため、20℃以下での保管など適切な取扱いが必要である¹²。

塩素には、独特の臭いが水道水に付くため、飲料水の利用者が不快に思う場合がある。また、トリハロメタンなどの消毒副生成物による発がん性が指摘されているため、これらへの対応が必要となる。

しかし、塩素消毒の義務化から、我が国における水系消化器系感染症の発生が激減したことは事実であり、乳児死亡率も大幅に減少したことから、第二次世界大戦後の我が国において、水道水の安全性の確保に塩素消毒が果たした役割は大きい。

一方、法的に塩素消毒を義務付けたことによって、浄水処理技術が未熟であっても水道を運用できるようになったことが、浄水処理の重要性を軽視させ、浄水技術の発展を阻害したのではないかとする指摘もある¹³。

このような課題に対応して塩素消毒以外の選択肢を増やすため、2000年（平成12年）前後に消毒方法の多様化のための研究が行われ、紫外線や二酸化塩素による消毒が導入された。ただし、最終的には塩素消毒をしなければならない法的な義務には変更はなかったため、このような消毒法は限定的な利用にとどまっている。

¹¹ 諏訪博是氏

¹² 日本水道協会『水道用次亜塩素酸ナトリウムの取扱い等の手引き（Q&A）』
http://www.jwwa.or.jp/houkokusyo/pdf/200803_suidouyou_guideline.pdf

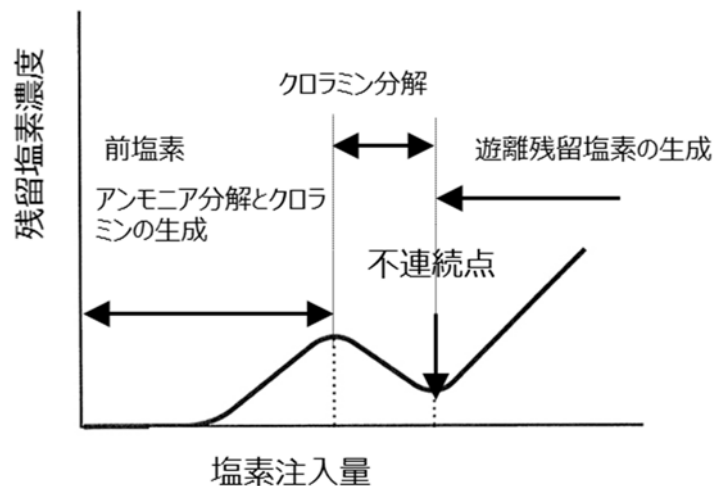
¹³ 眞柄泰基氏コメント。たとえば、1996年に埼玉県越生市で発生した、病原性原虫のクリプトスポリジウムによる集団感染は、塩素消毒に頼って急速ろ過施設の運用に油断があったことが原因の一つとも言われている。

【コラム】塩素を使用した水処理（前塩素処理）

水道では主に消毒用として使用される塩素であるが、藻類やアンモニアの除去に使用する場合もある。アンモニアを含む水に塩素を注入すると、塩素が急速に消費され、結合塩素（クロラミン）が生成するが、さらにこれを塩素で分解して遊離塩素が生ずるまで塩素の注入率を高める方法を不連続点塩素処理（break point chlorination）という。1965年代以降、水質の悪化によりアンモニア対策や藻類対策として、塩素を前塩素処理に使用する動きが、大規模事業者等で見られるようになった。

特に大阪市では、苦勞しながらも不連続点塩素処理の導入を進めた。当時、大阪市は緩速ろ過方式と急速ろ過方式と両方の処理系統をもっていたが、高濃度のアンモニアを含む水を緩速ろ過で処理すると酸素消費量が大きすぎて適切な処理ができなかったため、急速ろ過と不連続点塩素処理、結合塩素による消毒、という浄水処理へと変更した。

マンガンも水道水質に影響を及ぼすが、塩素によってマンガンを酸化し、急速ろ過池のろ過砂表面に二酸化マンガンの層を形成したマンガン砂でろ過する技術が確立したことにより、ほぼ確実に除去できるようになった¹⁴。



出典：環境省「特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法施行規則第五条第二項の規定に基づく環境大臣が定める検定方法」<http://www.env.go.jp/hourei/05/000188.html>

図6 不連続点処理の考え方

¹⁴ 藤田賢二氏

【コラム】塩素濃度の基準

現在の塩素消毒の基準については、水道法施行規則第 17 条第 3 項に具体的な定めがある。

「給水栓における水が、遊離残留塩素を 0.1mg/l（結合残留塩素の場合は、0.4mg/l）以上保持するように塩素消毒をすること。ただし、供給する水が病原生物に著しく汚染されるおそれがある場合又は病原生物に汚染されたことを疑わせるような生物若しくは物質を多量に含むおそれがある場合の給水栓における水の遊離残留塩素は、0.2mg/l（結合残留塩素の場合は、1.5mg/l）以上とする。」

終戦直後に GHQ が指示した塩素注入率は、給水栓での残留塩素で 2.0mg/l 以上と現在の基準に比べ、大幅に高かった。GHQ における占領終了後、塩素の注入率の基準は処理水質の向上などに伴い 1/20 に緩和され現在の基準に落ち着いている。

このような高い濃度が設定された背景には、米軍が、他の途上国での経験をもとに、日本での衛生基準を指示したため¹⁵、このことは、現地事情をよく斟酌せずに先例によって基準を持ち込むべきではないこと、受け入れる側も自国の事情にあった基準を設定すべきこと、の事例といえる。

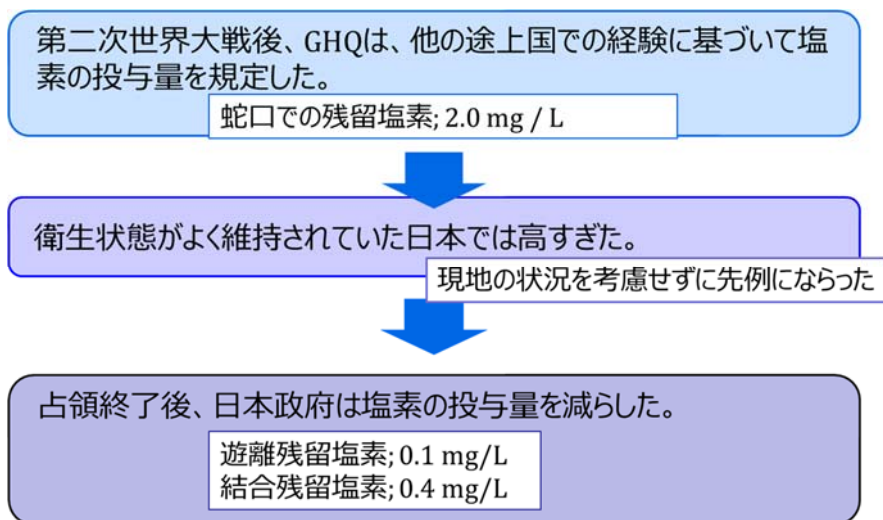


図 7. 残留塩素基準値の決定過程

¹⁵ 玉井義弘氏

講師の方へ：

開発途上国では、我が国で主に使用されている液体の次亜塩素酸ソーダではなく、取り扱いに危険を伴う塩素ガスや、古くなって有効塩素量が減少したさらし粉（クロリンパウダー）等を使用しているケースもみられます。次亜塩素酸カルシウム（高級さらし粉）は途上国でよく使われていますが、水に溶けにくいので、濃度調整などが難しいという欠点があります。調達は難しいのですが最近では次亜塩素酸ナトリウムを使う国も出てきています（タイ、カンボジア）。

このような状況を改善するのが望ましいですが、塩素剤の調達可能性や価格等の現地事情によりやむを得ずそのようになっている場合もありますので、事情の確認が必要です。

（２）浄水方法の選定

浄水方法は原水水質に合わせて適切に選定する必要があり、自国の自然条件に合わせることや、そのための知識、技術を持つ技術者を育成することも重要であった。

浄水処理の技術は、水源の種類や原水の水質に合わせて適切に選定することが重要である。

我が国の水道事業体は、水源の水量、水質等を調査し、その結果に基づいて適切な場所を選定している。水源の調査は、水量・水質の変化を観察して問題点を把握するため、最低でも過去５年程度の水源データを元に、さらに１年間の中でも季節による変動を考慮し行われている。水量・水質に問題がある場合、水道事業体は、浄水設備メーカーと共同で実験装置を作成して、効果を確かめた上で浄水方法を選定することもある。水道事業体と浄水設備メーカーは、浄水装置が稼働した後においても、１年間程度、浄水効果や不具合の状況を観察し、浄水設備が適切に効果を発揮するよう調整している。

また、安定的な浄水を行うためには、適切な取水を行う必要がある。ダム湖等から取水する場合、深さによって水温や水質が異なったり、降雨時等に濁質が表層に流入したりして浄水処理に影響を与えることがあるため、取水口の深さを変動させ選択取水する方法が用いられる。また、河川から取水する場合は、近くに下水排水口がある場合はその上流で取水する、取水口の周囲にオイルフェンスを設置するなどの方法により、安定的な取水・浄水が行われるよう配慮している。

世界のどの国においても、自国の自然条件に合わせた水道システムにする必要がある。そして、浄水処理方法の選定は、各地域の水道施設の維持管理レベルも考慮する必要がある。例えば、浄水施設の維持管理に人員が不足している地域では、手間をかけなくても安全な水が確保できる水源を選ぶことが第一優先である。自国の自然条件に合わせた浄水処理方法の把握のためには、知識、技術を持つ技術者を育成することも重要である。

(3) 緩速ろ過技術

緩速ろ過法は、原水がきれいで安定している場合に優れた処理法であるが、設置に広大な面積の土地が必要である。

緩速ろ過は生物処理を使用する浄水方法であり、我が国では「生物浄化法」と呼ばれることもある。物理処理のみである急速ろ過とは、浄水処理の原理が異なる。機械電気設備の少ない簡単な施設から成り、薬品や電力を多く必要としないため、我が国に近代水道が導入された際には、緩速ろ過方式が主流だった。

緩速ろ過方式は、通常、普通沈でん池で原水中の懸濁物質を自然沈降により沈でん除去した後、ゆっくりとした速度でろ過するものである。ろ過速度は、我が国では4~5m/日が標準とされる。原水濁度が低い場合や熱帯・亜熱帯地方のように水の粘性が低く、生物膜の生物活性のより高い地域では上げることができると考えられており、我が国でも南部の亜熱帯に位置する宮古島市ではろ過速度を7m/日程度で運転できる。この方法は、生物の機能を阻害しなければ、水中の懸濁物質や細菌を除去できるだけでなく、ある程度のアンモニア性窒素、臭気、鉄、マンガン、合成洗剤、フェノール等も除くことができる。

緩速ろ過方式の特徴として、ろ過池の生物膜がある。ろ過池の砂層の表面での機械的なふるい分け作用と水中微粒子の砂層表面への付着作用によって、水中の懸濁物質が砂層表面に抑留される。この抑留物に水中の有機物や栄養塩類が付着吸収されて汚泥物が生成され、さらに藻類や微小動物、バクテリア等が繁殖して、蓄積された懸濁物や生物群とその分泌物が一体となつてろ過膜とよばれる生物被膜が形成される。このろ過膜は、スクリーン作用、吸着作用、さらには砂層中の微生物の働きによって分解作用が進む。また、バクテリア等による臭気物質の分解など強力な異臭味除去機能を有している¹⁶。浄水処理の原理が生物処理であることから、生物膜に対して十分な酸素や日光が届くよう、水深やろ過速度に注意し、生物膜に対して有害な物質や泥が流入しないよう留意する必要がある。降雨後などに濁度が一時的に高くなる水源の場合は、粗ろ過池などの前処理施設を設ける。

¹⁶ 日本水道協会『生物起因の異臭味水対策の指針』（1999年）p.97

この方式は、水を作るのに時間がかかり、大量の処理能力を確保するにはろ過池の面積を大きくするため広い土地が必要となり、原水の水質が安定して濁度の低いものである必要がある。また、一定期間使用してろ過抵抗が大きくなった場合には、生物膜を残しつつ、ろ過層表面を薄く掻き取って溜まった泥等を取り除くため、ろ過池を一時休止する必要がある。こうしたことから、都市化に伴って利用可能な土地の確保が難しくなり、また水源水質の汚濁や水需要の急速な増大が進んだ時期に、我が国の浄水処理の大部分は急速ろ過に移行してきた。

しかし、優れた浄水処理として数少ないながらも全国で活用されている例もある。島根県企業局三代浄水場が2011年（平成23年）、斐伊川伏流水を原水とする35,000m³/日の緩速ろ過施設を整備している。

【事例】 大津市柳が崎浄水場

大津市柳が崎浄水場は、1948年（昭和23年）、大津市上水道創設時に建設され、15,000m³/日の緩速ろ過池を設置して、大津市の中心的な浄水場となった。また、1960～1965年（昭和35～40年）に27,000m³/日に緩速ろ過池を拡張した。さらに、水需要の増大に対応するため、1973年（昭和48年）に急速ろ過池30,000m³/日を建設した。

大津市柳が崎浄水場はこのように、琵琶湖を水源とし、緩速ろ過と急速ろ過を併用した浄水場となったが、主として緩速ろ過の浄水が給水される区域については、においの苦情がないという¹⁷。急速ろ過に対しては、臭気対策として1998年（平成10年）に生物接触ろ過施設が導入された¹⁸。

¹⁷ 中西準子・小島貞男『日本の水道はよくなりますか』亜紀書房（1988年）p.189

¹⁸ 大津市「主要な水道施設」<http://www.city.otsu.lg.jp/kigyo/about/water/1454032216393.html>



出典：大津市企業局「主要な水道施設」

<http://www.city.otsu.lg.jp/kigyo/about/water/1454032216393.html>

写真 6 大津市柳が崎浄水場

(4) 急速ろ過技術

浄水処理の基本となる技術は、水の中に混じっている濁りを除去する固液分離である。我が国に水道技術が最初に導入された時代は、比較的清浄な原水を確保し、緩速ろ過法によって処理する方法が導入されたが、水需要の増大とともに凝集沈殿急速ろ過法が主流になった。

浄水処理の基本となる技術は、水の中に混じっている濁りを除去する固液分離である。

我が国では、原水に濁りが少ない場合、水道事業者は、浄水処理方法として塩素処理のみを選択することが多かった。例えば、多くの水道事業者は、濁質が少ない地下水を水源として選択し、塩素処理のみを行って送水していた。

水源を表流水とする場合、上流の水は比較的濁度が低いため、上流から取水できる水道事業者は、緩速ろ過法を選択することも珍しくなかった。しかし、我が国が戦後の高度成

長期にさしかかると、水需要の増大に応じて大量の取水が必要になるにつれ、流量の多い下流に取水点が移動した。これによって、高汚染、高濁度の水を大量に取水して処理する必要が生じたため、河川濁度の変化に対応しやすい、面積効率に優れ敷地の確保が容易である、アンモニア負荷等に対して不連続点塩素処理が利用できる、などの点で適していると考えられた、凝集沈殿急速ろ過技術が多く採用されるようになっていった。河川水の汚染が更に進んだ都市部では、高度処理技術が採用されるようになった。

【事例】急速ろ過法が導入された琵琶湖疏水

我が国においては、急速ろ過法は 1912 年（明治 45 年）の京都市の蹴上浄水場で導入されたものが最初である。琵琶湖疏水事業における第一疏水（1890 年（明治 23 年））と第二疏水（1912 年（明治 45 年））は、琵琶湖の水を京都市に運び、用水、運河、我が国初の電車のための発電の導入とともに、水道事業の側面では浄水方法を急速ろ過方式に変える契機となった極めて意欲的な事業であった。



出典：京都市上下水道局「急速ろ過池」<http://www.city.kyoto.lg.jp/suido/page/0000158305.html>

写真 7 蹴上浄水場

以降、緩速ろ過法と凝集沈殿急速ろ過法が水道事業体の水源や利用可能な土地面積等の条件に合わせて選択されたが、特に高度経済成長期の大規模事業体においては、急速ろ過

法が採用される割合が高くなっていった。この経緯は地方や事情によって様々である。

- 特に大都市周辺では、高度成長期以降の早い段階から土地の値段が大幅に上昇して、まとまった面積の用地の確保が難しくなっていた。そのため、敷地面積が相対的に少なく済む急速ろ過法が選択された。現在の東京都の浄水場はほとんどが東京都の外に位置するが、これは広い面積を要する緩速ろ過を導入していた当時に郊外に土地を求めていたことの名残である¹⁹。
- 日本全体を俯瞰してみると、河川水の濁度が一番高かったのは1960年（昭和35年）頃であった。当時はダムが少なかったため、堆積土砂によって河底が上昇した。そして、建設ラッシュに応じて河川からの砂利採取を盛んに行ったため、高濁度となる河川水源が増え、高濁度処理に対応しやすい急速ろ過が好まれた。その後、ダムの整備が進んで河道浚渫の必要がなくなった上、砂利採取が禁止となり濁度が下がっている²⁰。
- 高度成長期前後の生活排水、産業排水の増加による水源の汚染も急速ろ過中心となっていった背景の一つである。例えば、淀川水系では、1958年頃から水系の汚染によりアンモニアが急激に増加した。酸素要求量が多いために緩速ろ過池の低層部で嫌気化して、鉄やマンガンが再溶出し、それに塩素を入れるため市内で赤水や黒水が出る、ということが起こった。このように、アンモニアや臭気対策として不連続点塩素処理を導入したが、これは緩速ろ過では使えなかったため、急速ろ過が中心になっていった²¹。このようなことは水源の汚染が進行している開発途上国でも十分に発生しうることである。
- 戦後の普及促進を支えたエンジニアが、当時の時代の最先端技術とみなされた凝集沈殿をこぞって導入したという側面もある。先進的な事業体において水源の悪化等の必要から熟慮のうえ急速ろ過を導入したが、これに続く事業体が浄水場を整備するにあたって、流行のようにこれに倣ったところもあった。

¹⁹ 藤田賢二氏

²⁰ 眞柄泰基氏

²¹ 玉井義弘氏

講師の方へ：

本教材では、急速ろ過法を中心に説明していますが、水源の濁質に変化が少ないなど水質がある程度安定していて、維持運営をしっかりとできる人的基盤があれば、緩速ろ過法も優れた浄水処理方法であり、実際に多数の浄水場で運用されています。

途上国では原水が高濁度の場合や雨季と乾季で濁度の変化が大きい場合があり、それが緩速ろ過を使う場合のネックになっています。そのため、前処理設備として原水貯水池や粗ろ過池を設けたり、沈殿池を設けて薬品注入の設備も備えたりして、高濁度時には濁度をできるだけ落としてから、緩速ろ過池に送る場合もあります²²。

我が国における浄水処理が急速ろ過中心になっていった背景には、当時の社会の急速な発達により、大都市の水道事業体において水源河川等の極端な水質の悪化があり、それが収束するか見通しがつかなかったという事情があります。このような事例は開発途上国の都市部にも見られることであり、我が国の経験は参考になります。

凝集沈殿法も、様々な技術的試行錯誤の結果、現在の形式になった経緯がある。技術的挑戦により水道施設の処理方式が変遷し、使用されなくなった例として、高速凝集沈殿処理法、凝集剤の開発の経緯を紹介する。

高速凝集沈殿処理法は、フロックの形成を既成フロックの存在下で行うことにより、凝集沈殿の効率を向上させる沈殿法である。主流が垂直上向きとなる沈殿池で、フロックを大きくさせて沈殿効率を高めた処理方法である。この方法は、面積効率が高い浄水処理法として、1950年代に盛んに導入された。しかし、比較的少ない投資コストで多くの処理水量が得られるという長所は、傾斜板や傾斜管式の沈殿分離促進装置の発明等により失われ、横流式よりも運転管理に熟練を要すること等の短所が目立つようになったこと、その後、塩素消毒に耐性のあるクリプトスポリジウム対策として厳密な濁度処理が求められるようになったことから、現在では、新規の整備は行われなくなりつつある。

凝集剤も技術開発が影響を与えている。我が国では、pHの制御等があまりできなくても凝集効果が得やすいPAC（海外ではPAClと表記）が1967年（昭和42年）頃開発され、一般的に使用されていた硫酸バンドに代替して国内で広く普及するとともに、世界にも広まっていった。一方、海外で現在一般的に使用されている有機系高分子凝集剤については、これが我が国に紹介された当時の品質管理の水準から「必ずしも安全性を確認できない」との判断がなされた。現在では技術的知見も蓄積されており安全性への疑念はないが、当

²² 山本敬子氏

時の判断が現在でも尾を引いているため、我が国ではほぼ使用されていない。

【事例】大阪市水道の浄水処理の変遷（緩速ろ過から急速ろ過へ）²³

大阪市の水道は、1895年（明治28年）、横浜、函館、長崎に続く4番目の近代水道として、淀川を水源として建設された。当初は浄水場がなく、1人1日当たりの給水原単位を80 l/人/日、給水能力51,240m³/日で計画をしていたが、水需要に対して供給量がすぐに足りなくなり、1914年（大正3年）に緩速ろ過方式による柴島浄水場（151,800m³/日）を建設した。戦前は、原水の水質が良く、一般細菌も100cfu²⁴/100ml以下だったので、塩素消毒をしていなかった。

1945年（昭和20年）に戦争が終了して当初は、山林が荒廃していたため、山崩れや豪雨による土砂の流出による無機性の高濁度が頻発した。このような高濁度に対応できるよう、凝集剤の種類を検討や投入時の流入用バルブ設置等の改良をした。また、戦後になってから塩素消毒が導入された。その後、上流の山林の整備により高濁度の問題が少なくなった。

1955年（昭和30年）頃から原水中の有機物やアンモニアが増加し始めたが、1958年（昭和33年）に突如、真っ黒い水が流れてきて魚が大量に死んで浮いたので、取水を停止するという事件が発生した²⁵。この後、1960～1962年（昭和35～37年）頃にさらに水質が悪くなった。当初は何が起こっているか分からなかったが、都市排水の有機汚濁による影響で嫌気化して腐敗している上流の底泥が、大雨で一気に流出したことによるものだった。当時の施設は全て緩速ろ過だったので、薬品投入に反対する声もあったが、1958年（昭和33年）からは、緩速ろ過池の前の普通沈殿池に少量の前塩素と硫酸バンドを常時注入し、ろ過水質を安定させてきた。

問題の究明のための一連の研究の結果、アンモニア1 mg/lの硝化に溶存酸素（DO）が10 mg/l近く必要なので、アンモニア態窒素が多いと、ろ過層の中で硝化が起こって酸素が足りなくなり、ろ過池の低層部が嫌気性になる。これにより鉄やマンガンが還元され、イオン化して再び溶出すること、そこで塩素を入れると酸化鉄や二酸化マンガン等となり、これによって給水栓で赤い水や黒い水が出るというような状況になっていたことが分かった。

²³ 玉井義弘氏

²⁴ Colony Forming Unit（コロニー・フォーミング・ユニット）の略で菌量の単位（コロニーを形成する能力のある単位数）。

²⁵ 玉井義弘『「水」にかかわって半世紀』（2010年）p.4

これらの問題を解決するため、当時併設されていた急速ろ過系の前処理として、1962年（昭和37年）に不連続点塩素処理を始め、異臭味、鉄、マンガンの問題が解消された。これ以前は塩素の使い方としては、消毒のみを目的としていた。

他方で、緩速ろ過系をどうするかということが問題となった。夏場に水温上昇と水質悪化によって酸欠になり、ろ過層内に蓄積していたマンガンや鉄がイオンとして溶出する問題が起こった。そこで、検討会を設けて調査、研究を行った。下水道担当部署の経験をもとに原水の曝気を実施したが、当時は、水源である淀川の水質がこの先どこまで悪くなるか分からなかったこともあり、結果として1969～1974年（昭和44～49年）にかけて、鉄、マンガンを安定して取り除くことができる前塩素処理急速ろ過システムへの全面的転換を行った。

（5）高度処理技術

水源の汚染が進行すると、カビ臭など濁質の除去を中心とした従来の浄水処理では解決できない水道水質の問題が発生する。このような状況に対処するため、我が国では、様々な水処理技術の組み合わせについて研究を重ね、高度浄水処理技術の開発に取り組んだ。

経済発展により汚濁負荷が増えると、流域全体が富栄養化するなどして、水源水質の悪化が加速度的に進む。アンモニア等、窒素負荷が顕著になる初期の段階では不連続点塩素処理等による対処で一定の効果が得られるが、さらに富栄養化が進み、藻類による臭気等が問題となってその対策が必要になると、通常処理では対処が難しくなる。我が国では、このような状況に対して、活性炭処理（吸着除去）、さらにその前段でのオゾン処理や生物処理（分解）の組み合わせである高度処理技術を開発し、主に下流域の水源を原水とする浄水場で導入して対処した。

【コラム】高度処理技術の導入の経緯

淀川水系では戦後早い段階で水源の汚染に直面した。当初顕在化した汚染は、アンモニア濃度の上昇を特徴とする、不十分な下水、排水処理による汚濁負荷の増加であり、不連続点塩素処理を中心とした対応でこの問題に対処していた。

当時、湖沼における富栄養化が問題となっており、水源である淀川の源流である琵琶湖南湖でも藍藻類の繁殖が進んでいた。この状況で、1971年（昭和46年）に淀川下流の取水

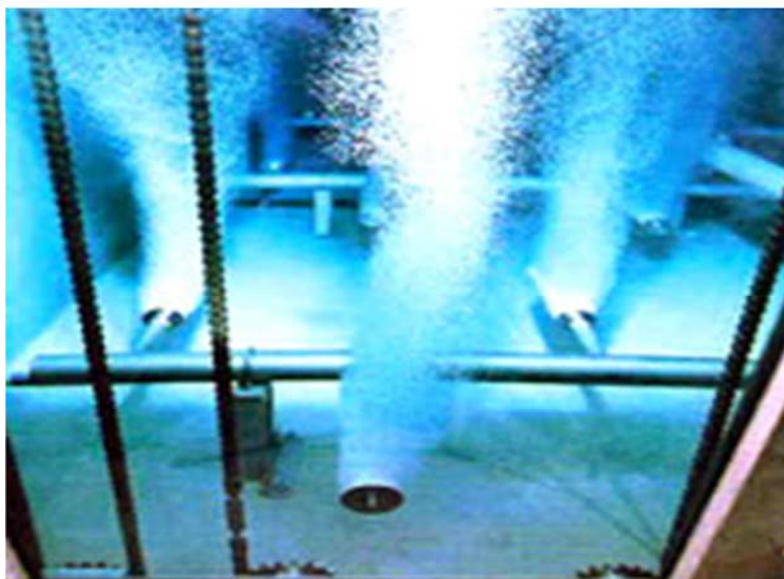
地点までカビ臭の原因となる藻類の流下が発生した。カビ臭は、湖沼が富栄養化して藻類が異常増殖して発生するもので、不連続点塩素処理及び急速ろ過法では対処できず、分解や吸着でしか除去できない物質である。

そこで、臭気物質の分解として微生物の活動を利用する生物処理とオゾン処理の2種類を研究し、1973年（昭和48年）に尼崎市で最初のオゾン処理が導入された。ただしそれでは不十分と考えられたため、後段に活性炭処理を導入して万全を期した。

一方、関東地方では1980年（昭和55年）に千葉県柏井浄水場でオゾン処理・活性炭併用が導入され、これらを皮切りに研究開発を伴いながら高度処理フローの研究が進んだ。

しかし、当初は投資負担の増加等から慎重意見も根強かった。トリハロメタンの発がん性が社会問題化し対応が迫られる中で、二元給水（飲料水だけを高度処理して別途供給する）方法や、飲料水をペットボトルで配る等の方法も比較検討された。

結局、消毒副生成物を最少にするため浄水過程での有機物は少なくした方がいいだろうとの判断で、高度浄水処理を導入した。現在でこそ統合的な水源保全の効果によって水源水質は安定しつつあるが、当時は、将来の水源水質がどこまで悪化するか予想できなかったことも高度処理導入の大きな理由である²⁶。



出典：東京都水道局「オゾンによる水処理」<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/topic/13.html>

写真8 オゾン接触層

²⁶ 玉井義弘氏

高度処理を導入したことによって、異臭味の改善や有機物によるリスクの低減効果が得られた。さらにこのことが、現代では安全でおいしい水のアピールとなり、ひいては水道事業への信頼の獲得に大きな役割を果たしている。

講師の方へ：

開発途上国において、費用負担能力の問題から高度処理が有力な選択肢となるケースは稀であると考えられますが、粉末活性炭などを既に使用している例もあります。

また、水源の汚染、富栄養化による異臭味、市民の不満の高まりといった日本で生じた一連の問題は、今後、途上国でも深刻化する可能性があります。日本の経験を共有することにより、水源対策への早期着手や長期的視点を踏まえた都市のマスタープラン策定の必要性等の理解につなげることができるかもしれません。

(6) 膜処理技術

膜処理技術は自動化が容易で人の関与を少なくできるメリットがあり、我が国では中小規模の浄水場を中心に導入事例が増えつつある。今後は世界で採用が増加していくと推測されている²⁷。

膜処理技術は補助的に前処理に凝集剤を使用することもあるが、原理的には水压をかけて原水を膜に通し、水質を浄化する処理である。敷地面積が少なくて済み、自動化が容易で人の関与を少なくできるメリットがあり、我が国では山間部等、通常は水質が良好であるが野生動物の由来の原虫類による汚染の可能性がある地域の浄水処理に採用される例が増えてきた。一方、個々の膜モジュールの結合となるため、スケールメリットは出にくい。

膜の種類は、逆浸透膜 (Reverse Osmosis Membrane : RO)、限外ろ過膜 (ultrafiltration : UF)、精密ろ過膜 (microfiltration : MF) に分類できる。限外ろ過膜と精密ろ過膜は、物理的に濁質を除去するものであり、限外ろ過膜は精密ろ過膜よりも口径が小さく、ウイルスなどを除去できるが、ろ過に必要な圧力は大きくなる。淡水化には逆浸透膜を用いる。

我が国では、次世代の水道技術を模索した産官学連携のプロジェクト MAC21 計画 (1994～1996 年 (平成 6～8 年)) において、水道用の膜処理技術の確立に取り組んだ。

²⁷ 眞柄泰基氏

中東などの水資源が少ない地域における海水や汽水の淡水化や、技術人材の確保・育成が困難な地域などにおいてはすでに広く用いられており、今後は世界的に採用が増加していくと推測されている。さらに、普及による膜モジュールのコスト低下により、開発途上国においても浄水処理技術の主要な選択肢の一つとなっていく技術であると考えられる。



出典：京都市上下水道局「地域水道」<http://www.city.kyoto.lg.jp/suido/page/0000160981.html>

写真9 小規模水道施設の膜処理（京都市墨田地域水道）

講師の方へ：

我が国では膜処理施設は高コストな印象がありますが、膜モジュールの価格が大幅に下がってきたこともあり、凝集沈殿急速ろ過法等との差はほとんどなくなってきています。継続的な膜モジュールの調達さえ可能であれば、開発途上国でも適用可能な選択肢となる可能性があるため、項目に加えました。

しかし、膜処理の途上国への採用の難しさは、維持管理を伴うことです。定期的に薬品洗浄が必要で、途上国自身ではなかなかできないのが現状です。維持管理費が高くなる可能性もあります。

一方、海水の淡水化は、他に水を得る手段がない場合の最後の切り札として、水源の極端に少ない、中東、北アフリカなどですでに広く用いられています。JICAの研修においては、施設、維持管理手法、コストなどに興味を持たれています。

(7) 再生水利用

我が国では下水処理水を、トイレの水洗用水、工業用水等として再生水利用することは、広く行われている。再生水利用は、開発途上国であっても、水源が極端に不足、あるいは悪化していて、一般的な水道システムが設置できない場合には選択肢となりうる。

再生水利用とは、下水等の排水を高度浄水処理した再生水を利用することをいう。

下水処理水を一旦流域に放流して環境の浄化作用を介し、再度下流域で利用する、広義の再生利用 (indirect reuse) は一般的であり、広く行われている。一方、再生水の直接利用 (direct reuse) は、実現するための生物処理やオゾン処理などの要素技術は既に確立されており、技術的には十分に可能である。しかし、一般的な水道整備とくらべて、処理に投入されるエネルギーが非常に大きいため、通常は水道用としては使いにくい。また、住民の感情や受容可能性、宗教的な忌避等、再生水の利用には配慮しなければいけない社会・文化的な制約も多く、世界的にみても実施例は極めて限られている。

我が国でも、水道用水としての直接利用は行われておらず、トイレの水洗用水を中心とする雑用水道や工業用水道として再生水が使用されている。特に、地盤沈下の問題が深刻化し、地下水揚水が厳しく規制されている地域 (東京都など) や、渇水被害が多い地域 (福岡市など) では、ビルにおける再生水の利用 (中水道と称される) を義務付け、積極的に活用している。

我が国よりも水資源が極端に不足している国も多く、例えば中国では、日本よりも 5 倍の再生水利用 (Indirect reuse) ができないと需要に応えられない²⁸。このようなケースでは、水資源、人的資源の制約にもよるが、高度処理や MF/RO 膜のような処理方法も選択肢として浮かび上がってくる。例えばボイラー用水であれば、水道水を使用するよりも、逆浸透膜によって処理された排水の再利用のほうがより優れた選択肢となりうる。我が国は比較的水源が豊かであったため、このような方法は極端な場合のみの選択肢と考えられている。しかし、水資源の制約が厳しい国であれば、どんな水でも使わなければいけなくなるような事態は、途上国においても発生するであろう²⁹。

²⁸ 眞柄泰基氏

²⁹ 眞柄泰基氏

濃縮工程を経たスラッジは、さらに水分を除去する脱水工程に移行する。脱水の方法には、機械脱水法による場合と、自然エネルギーによる場合とがある。機械脱水法は機械力によって脱水する方法で、真空ろ過、加圧ろ過、遠心分離、造粒脱水などに分類される。自然エネルギーを利用する場合は、天日乾燥床を設置し、太陽熱や風により水分を蒸発させ、乾燥させる。

スラッジを脱水したケーキは浄水発生土と呼ばれ、埋め立て処分が多く行われているが、有効利用の検討も進み、セメント原材料やグラウンド造成材、水稻育苗培土、園芸用土などに利用されている。

5. 地下水の利用と地盤沈下の防止

(1) 地下水の取水

地下水は、多くの場合、清澄で良好な水道水源となるが、水質上の問題や維持管理の必要性について十分に配慮が必要である。

我が国では、水資源は比較的豊富であり、湧水や井戸の利用も古来より積極的に行われてきた。このような水源を使用する水道は多数ある。しかし、地盤沈下が発生した沖積平野に位置する都市部では、地盤沈下の防止のため、水源を井戸から表流水に転換した。

地下水水源は、取水する帯水層の深さによって、浅層地下水を取水する掘井戸、深層地下水（被圧地下水）を取水する掘抜井戸がある。機械を使わずに深い井戸を掘る技術や、放射状集水井など効率的に浅層地下水を広く取り出す技術などがある。また、井戸取水を効率的に行うためのストレーナーについても優れた製品がある。

写真 10 は、地下水が豊富な地域で湧水を水道水源として積極的に活用している例である。写真 11 は、水道水源ではないが、良質な湧水を地域の共有財産として管理し、湧水口に近い方から流下する段階ごとに升を設け、上流側の升から、飲用、食器洗浄用、雑用と使い分けしている様子を示している。

地下水は多くの場合清澄で良好な水源であり、熊本市など多くの水道事業体が塩素消毒のみで利用している。一方、井戸を水源とする水道事業体は、地表からの汚染、鉄・マンガンの水質上の問題をかかえるケースも多い。またヒ素のような深刻な問題を含む場合もあるので、地下水を使用する場合には、取水前に十分な水質の調査を行ない、問題のある地下水の使用はなるべく避ける。どうしても使用しなければならない場合は、水質に応じた浄水処理と水質の管理を伴う必要がある。

井戸は井戸洗浄等のメンテナンスや地下水位等のモニタリングが必要となるため、維持費が発生し、経年劣化によりスクリーンの目詰まりなども発生することがある³⁰。

³⁰ 眞柄泰基氏



写真 10 岩手県滝沢市 姥屋敷水源 2010年（平成22年）12月2日撮影



写真 11 盛岡市内で現在も使用される湧水。上流から飲用、食器洗浄用、雑用と順に使用する工夫がなされている。 2010年（平成22年）11月23日撮影

(2) 地盤沈下対策

日本では深刻な地盤沈下の被害が発生した地域があるが、主に地下水揚水規制の導入と、代替供給手段としての表流水源の開発や工業用水道事業の整備により、地盤沈下を食い止めることに成功した。

地盤沈下は、自然に起こるが、人為的にも引き起こされ得る。地盤沈下のメカニズムは相当に解明されており、水理地質調査を適切に実施することで、どのような理由で発生しているのか、人為的な要因によるものなのかをまず見極めることが必要である。そのうえで、人為的な理由による地盤沈下を抑制するためには、(1) 圧密が生じる粘土層の分布や沈下が多く発生している層を特定するための水理地質の把握に加え、(2) 帯水層毎、用途毎の取水量の把握、帯水層毎の水位のモニタリング等を定期的に行い、(3) 涵養以上の水量を利用しないようにする。このため、我が国では、広域的な観測網の整備及び地下水揚水規制等の対策が進められた。地下水の揚水を規制するにあたっては、最も地盤沈下が生じている層からの多量の揚水を規制し、それ以外の層からの少量の揚水は規制しないなど、効率的、かつ社会的に受容可能と思われる規制を行った。

また、取水規制だけでなく、代替供給手段としての工業用水道事業を整備したことも重要である。これら複合的な施策によって地盤沈下をおおよそ食い止めるに至っている。

【コラム】我が国の地盤沈下の経緯

ポンプ技術の発展、深井戸のさく井技術の進展により、被圧地下水の大量取水が容易になると、地下水利用量が増大していった。我が国の場合は、これが地盤沈下が大幅に増加した原因である。我が国において、最初に地盤沈下現象が認識されたのは1923年(大正12年)の関東大震災後の測量であるが、大阪市域、ついで名古屋地域等で同等の現象が発見された。1945年(昭和20年)までの戦争中は、地下水揚水量が減少したため、この問題は一時沈静化したものの、東京都東部、大阪市、埼玉県東部などで1950年代に顕著な地盤沈下が発生して社会問題化し、規制の強化にあわせて代替水源としての工業用水供給により対応が図られた。それにより、地下水レベルが回復して自噴しているところもあるが、現在でも完全には収束していないところもある。それでも、顕著な被害はほぼ見られなくなっている。

6. 送配水システム

日本においても、当初は無秩序な樹枝状配管（Tree system）であったが、管路の位置や接続の情報すら文書化されず、拡張に堪える能力があるかも判断できないなど、管理レベルの低さがしばしば問題になった。そこで、市街地が面的に広がり、給水区域を拡張する必要が生じた際に、迂回ルートに新設管を整備することで、既存管とあわせて管網（pipe network）を形成していった。このような管路整備は、水圧の均等化や断水時間の最短化などを通じ、顧客に安定的な水道サービスを提供する効果をもたらした。

さらなる管理の高度化が必要となった事業体においては、1970年代以降、より高度な管理が可能なブロックシステムの導入（ブロック化）が推進された。これにより、配水圧の適正化、柔軟な水運用を実現してきた。このような経験を踏まえれば、配管設計の前提として、将来的な管網やブロック化を念頭に置いておくことが望ましい。

（1）配水システム

送配水システムへの投資は水道の投資の2/3を占めるため、配水池、配水ポンプ、配水管網を長期的な視野のもとで効率的に整備することは極めて重要である。



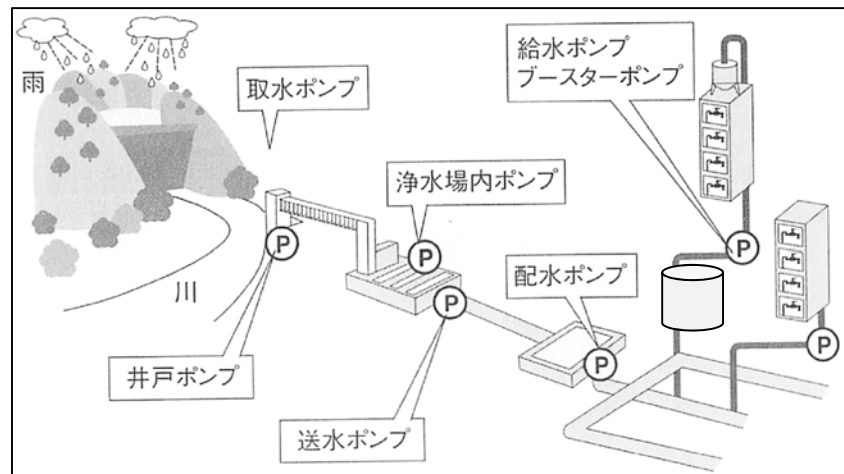
写真 12 八戸圏域水道企業団 白山浄水場内配水塔 2010年（平成22年）10月29日撮影

日本における配水システムは、起伏のある地形を適切に利用して高台に配水池を設置し、ここから自然流下による配水を行う形態を理想として配水管網を設計している。ただし、適切な高地がない地域においては主にポンプ直圧による配水システムが導入される。

平地に大規模なシステムを展開しなければならない地域においては、高架水槽（Elevated Tank）に貯水能力を持たせて送水する方式により、効率的に水圧を維持できる。我が国でも同様のシステムは存在するが、我が国は地震が多く、これに耐えられる構造の高架水槽としなければならないことから整備が高価になりがちである。近年では、ポンプを効率的に運転する技術が向上したこと、水道システムの中で配水池の容量を確保できるようになったことなどから、適切な高地がない場合には高架タンクを廃し、常時ポンプにより圧送する配水システムを導入する場合も多い。

特に配水池は一度整備すると、配水水位が固定され、変更しにくいいため、高架水槽を設置する場合は長期的な需要動向や配水システムについてよく考え計画的に設置することが非常に重要である³¹。

また、大量の水を送るためにはポンプ技術ならびに水撃圧制御等の各種技術への理解が重要である。とりわけ、ウォーターハンマ（水撃現象）は、管路システムに致命的な破壊を与えかねないため、計画時点でサージタンクやフライホイール等の対策設備を設置し適切に運用する必要がある。



出典：「水と水技術」15号（2012年）に加筆

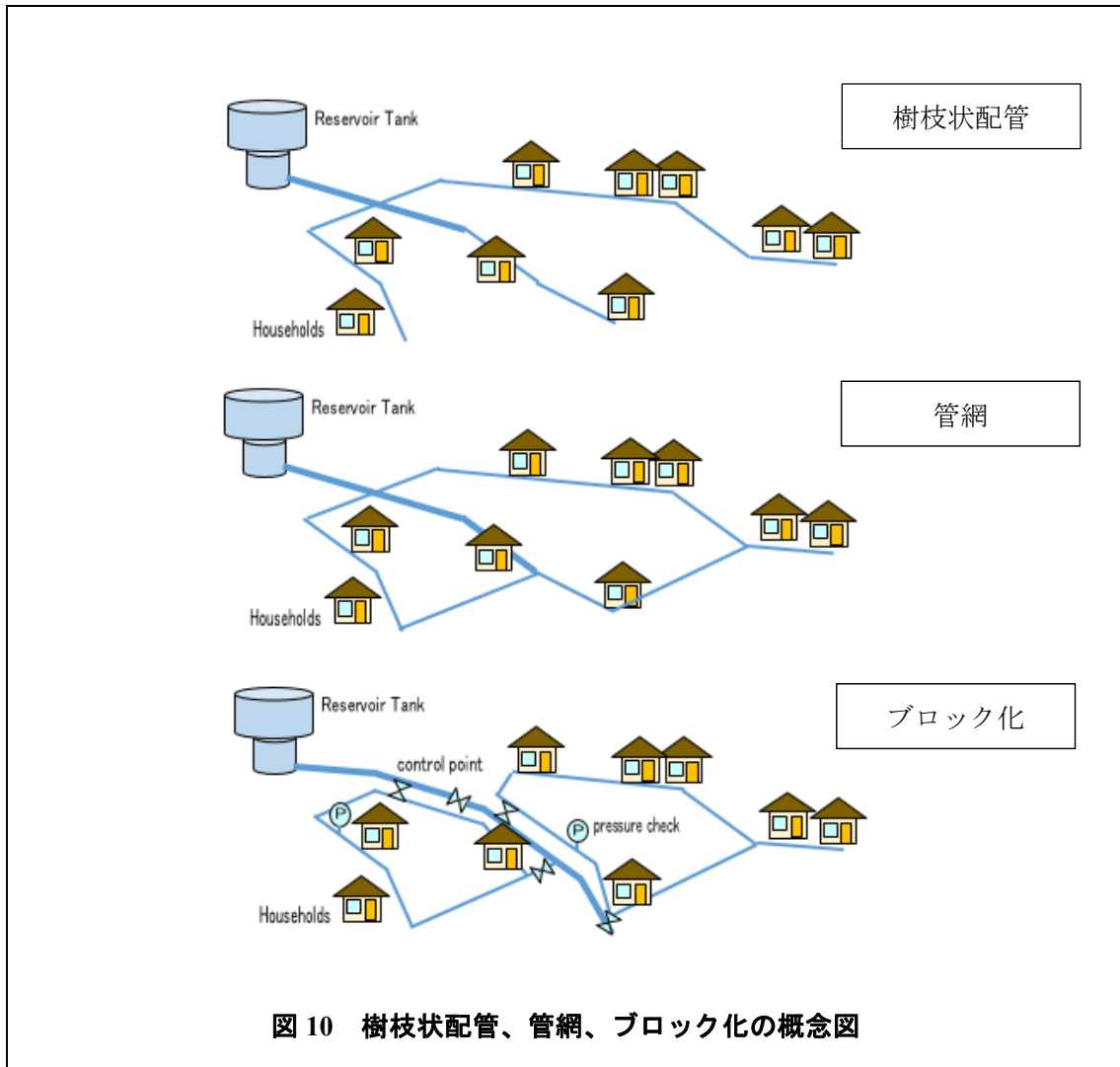
図9 配水システムとポンプ設置箇所の例

³¹ 眞柄泰基氏

(2) 配水管路

我が国においては、配水管路は単に水を配るためのシステムから、徐々に流量や圧力の制御を意識したネットワーク化やブロック化がなされたシステムに進化していった。

配水管路に求められてきたのは、初期は投資コスト効率（樹枝状配管で最も効率的な管口径による整備）、次いで稼働効率（管網により運用の柔軟性を与え、事故等の影響を最小化する）を経て、運用効率（ブロック化、さらに遠隔監視・制御装置（Supervisory Control And Data Acquisition : SCADA）による遠隔監視等を組み合わせた供給効率の改善）へと進化していった。



当初の配水管網は、単純な樹枝状配管であった。この方式は、最小限の投資で水供給を行うことができるほか、管路の破損等の際にも破損箇所を特定しやすい等のメリットがある。ただし、ルートが単一であるために需要の変化の影響を受けて水圧が変動しやすいほか、管路の破損時に管路の補修が終了するまで水供給が回復しないため、断水時間が長くなるデメリットがある。

管網による配水という概念そのものは1940年代以前にすでに普通にあったが、これが一般的になっていったのは1960年代以降の普及促進の時代である。もともとは街道沿い、沢筋沿いに住宅があったものが、市街地が広がり丘陵地にも住居が広がって、給水区域が面的に広がったために、当該地域への給水能力の拡張の際に既存の管路に別ルートでの管路を追加したことで、ネットワークシステムになっていった。また、我が国では消火用水を確保するため、消火栓を2,500人に1水栓と決めたことで、消火栓で一時に大量の水を出すために樹枝状配管では管路の能力に限界があったこともネットワークになった理由である。

さらに、1964年（昭和39年）の新潟地震による液状化のための管路破損、1978年（昭和53年）の福岡市の濁水、土地の起伏の激しい仙台市や神戸市における水圧管理対策の必要等、さまざまな理由でゾーニング（ブロック化）に進化した。それぞれの水道事業体における高度な水運用の必要性によりブロック化の理由は異なる。

また、情報伝達のコストが下がった現代においては、監視制御システム（主にSCADAと呼ばれる）を活用して、管路内の水の流れを遠隔で制御したり、漏水を発見したりするような、高度な配水管理も導入されはじめている。

一方で、多くの事業体では、管路の情報の管理はまだ不十分で、管路の整備時期、管種、修繕箇所、事故履歴等が適切に把握できていない場合も多い。情報技術の導入による管理水準の引き上げのための取り組みは、マッピングシステムの活用や管路の健全性の評価を基盤とするアセットマネジメントの取り組み、スマートメータ等の技術の導入とあわせて、今後進展していく見込みである。

講師の方へ：

送配水施設の整備は水道事業における非常に重要な要素ですが、浄水場の整備と比べて地面に埋設された管路の整備は地道な作業のため、援助プロジェクトを自らの成果としたい政治家や高級官僚などの幹部層からは軽視されがちです。

配水施設の途上国の特徴は、配管が計画的でなく、必要に応じて延ばす、既存管に併設する、口径がまちまち、老朽管が多い、管材料の問題がある（AC、PVC等）などです。また、情報が図面上にない、どこに埋設されているかベテラン職員しか知らない、事故等の記録もない等の情報整備の問題もあります。

ハード面では、配水池がほとんどないため容量も足りない、送水管にも直接配水管が接続されていて配水コントロールが難しい、メーターがないので正確な配水量がわからない、管路布設の施工能力が低い、掘削埋め戻しに関する施工基準がなく工事の質が良くない、他の事業者が掘削して管路を破損する事故も多いなど、日本に学ぶことは非常に多いと考えられます。

「テーマ5．無収水対策」とあわせて、水道管路の合理的な整備の重要性についての十分な理解を促進していく必要があります。また、「事例4．公平・効率的・強靱な水運用を支えるブロック化：横浜市、福岡市」についても参考にしてください。

7. 水道の技術管理と計画的整備

(1) 施設基準の重要性

我が国における水道の基本的な思想は、適切に整備された水道施設が適切に運用されることで、安全な水の供給が担保される、というものである。このために、水道施設が備えるべき基準が水道法において定められている。

我が国において、水道の整備が始まった当初は、水道施設の設計は模索の連続であったため、経験を水道事業者間で共有していく必要があった。そこで、日本水道協会が中心となって技術的知見が蓄積され、これが後の設計指針となり、さらに施設基準を具体化していくためのノウハウの基盤となった。

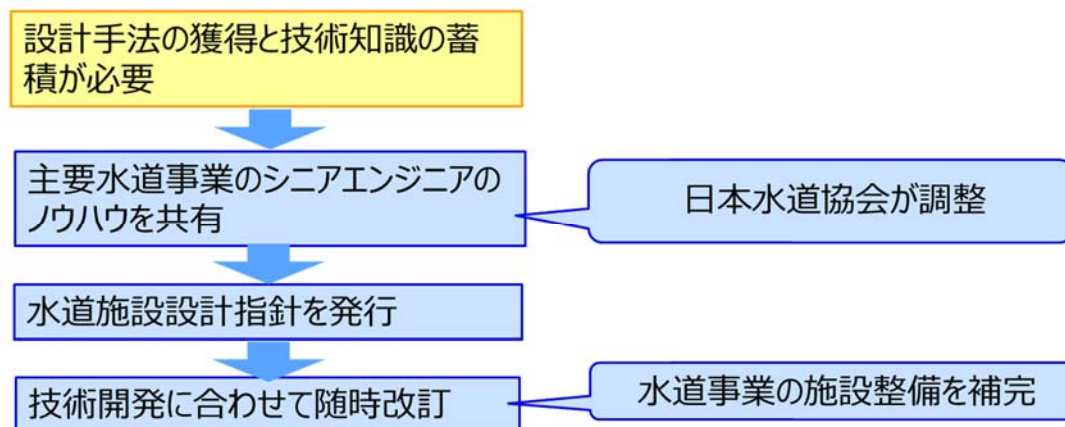


図 11 日本における施設基準の開発

(2) 設計思想の変遷

水道施設の設計思想は、自国の国情にあわせて改善していくことが必要である。例えば、我が国は地震国であるため、地震による被害とその対策を通じて、水道施設や資機材の設計が改良され、徐々に地震に強い水道となっていった経緯がある。

我が国においては、初期の公共施設の設計思想は地震に耐える堅牢な構造物を建設するというもので、概ね震度 5 に耐える構造設計が行われれば地震に耐える構造物であると評価されていた。しかし、1964 年（昭和 39 年）の新潟地震において、広範な地盤の液状化現

象が観察され、管路の被害が認識されたことから、水道管の耐震化のための技術的な研究が始まり、1973年（昭和48年）に厚生省で策定された「南関東大震災対策調査報告書」のなかで、大きな地盤変状に対して継ぎ手が柔軟に追随できる鎖状構造の管路が提唱され、耐震管の規格化につながっていくこととなった。

また、1995年（平成7年）の阪神淡路大震災は、大都市直下での巨大地震による広範な被害をもたらしたが、この被災経験から、地震動をレベル1・レベル2に分けて地震に強い水道施設を実現するための施設整備や、断水時でも最低限確保しなければならない飲料水や消火用水等が提示され、以降の耐震化の指針となっている。

2011年（平成23年）の東日本大震災では、これらの取り組みの成果として、地震や津波等の複合的な災害の規模の割には、水道構造物の被災は少なかった。また、大きく被災した一部の水道施設についても、従来からの知見で被災が予測されたようなケースであった。しかし、更新途上であった古いタイプの管路の被害は依然大きく、広範囲に埋設整備されている管路の耐震化の困難さを浮き彫りにした。現在、このような経験にもとづき、水道管路の耐震化のあり方について各方面で検討が進められている。

講師の方へ：

我が国の水道施設の技術管理は、水道法の条文にあるように、安全な水を定義し、そのような水を出せる施設とはどのような施設かを定義し、そのような施設かどうかを認可でチェックする、というシステムになっています。

途上国においては、我が国の認可に相当する制度がない場合も多いので、認可という概念は参考になります。

（3）計画的拡張の重要性

水道整備には莫大な資金が必要であるが、資金の供給には限界がある。限られた資金を効率的に用いて計画的に段階整備を進め、資金と料金収入を管理するために、マスタープランの下での計画的拡張は極めて重要である。我が国においては、水道事業の認可や国庫補助の申請、債券発行による資金調達などの際に、マスタープランに相当する事業計画を作成して活用した。

水道の普及のためには、水道の給水区域を広げていくことが必要であり、そのためには水道施設の継続的な建設整備が必要となる。このための資金は、市町村が中心となって調達する公的資金と、事業開始後の料金収入が充てられる。

我が国において、特に都市水道への投資は、市町村による出資、国庫による補助、国庫による貸付（債券発行）による資金で行われた。

市町村による出資を得たり、住民にも料金や負担金等の負担を求めたりするためには、マスタープランを作成して議会を通じて住民の理解を得ることが重要であった。また、国庫による補助や貸付を受けるためにも、適切なマスタープランが必要であった。

さらに、水道にかかる建設投資を水道料金で賄う、コストリカバリーの原則の下での水道経営のためにもマスタープランが欠かせない。我が国においては、調達可能な資金も考慮して、まず中心市街地等の狭い地域で水源から浄水、送配水、給水までの一連の水道システムを一式整備し、料金回収までを一連のサイクルとして回し、経営基盤を確立してから、その外の地域に給水区域を拡張していくという、段階的整備を進めていった。このような計画の運用もマスタープランを介して行われた。

ただし、都市水道については、水源水量が足りない中で、水源の手当がついた範囲で水道の整備を段階的に行わざるを得なかったという側面もある。特に高度成長期は、人口も経済も右肩上がりの状態で、需要が増えていくという計画を立てる必要があり、水資源や都市計画、産業の発展等の状況も変化していくため、頻繁に見直しをかけていた³²。急激な都市域の拡大に対しては、区域拡張による収入増加と配管整備コストの関係を常に意識して拡張計画を策定する取り組みが行われた³³。必ずしも長期的に無駄のない投資ができたわけではないが、需要に合わせて漸次拡張していったこと、料金によって建設を行うコストリカバリーの考え方があったことから、持続可能な水道を支える継続的な設備投資が可能となった点は、現在の水道経営の礎となっている。

一方で、地方水道については、投資を抑制しなければならず、将来の更新投資のための資金蓄積を犠牲にしていた面もあった。安価な材料を使い、公営企業会計を使用せず、組織も未成熟なまま県が支援する形をとった。普及促進のための妥協策であり、必要な施策ではあったが、現在ではこれらの経営の継続性よりも普及促進を優先して建設してきた小規模水道をどう維持するか大きな問題となっている³⁴。

³² 齋藤博康氏、滝沢智氏

³³ 三竹育夫氏

³⁴ 滝沢智氏、諏訪博是氏

講師の方へ：

開発途上国では、浄水場だけ援助等のプロジェクトで整備され、管路整備は途上国側の責任範囲とされた結果、管路の整備が進まず、せっかくの浄水場が機能しない、といったケースが見られます。これは途上国に援助する機関も認識しておくべき問題です。

(4) 認可と認可を補完する制度

水道法に定められた認可は、技術的蓄積に乏しくマスタープランの策定が困難な普及期の水道事業体にとって、水道施設、事業運営に至る具体的計画を盛り込む必要があることから、必要最小限のマスタープランとして機能し、適切な水道施設建設の普及に貢献した。

我が国の水道施設の技術の管理の一つの柱は施設基準であるが、水道法第 6 条に定めのある認可制度も必要な役割を果たしている。これは、水道を開始する際に所定の内容の認可申請書を作成して厚労省（給水人口が 5 万人を超える場合）、あるいはその付託を受けた都道府県（給水人口が 5 万人以下の場合）の審査を受ける制度である。

認可申請書は、需要予測、施設計画、財政計画（料金計画）を含んでいる。つまりマスタープランが必ず作成されている。さらに、簡易水道においては補助対象とするかどうかの審査も兼ねている。

全国で競って水道整備をした時代には県庁内に簡易水道係があり、ここで県職員が自ら設計や審査等を担当していた。建設部局から厚生部局への人材の異動等も行われたが、技術職は慢性的に不足していた。後に設計や計画は外郭団体や民間コンサルタントを活用するようになったが、当時は、まだ、小規模な水道にまで民間のコンサルタントの手が回らなかった³⁵。

簡易水道の計画は維持管理に人手がかけられない前提で作成されている。清澄な水源を求めると、技術力が十分でなくても対応できるように作っている。ただし管路の修繕等は必要なので、地元で工務店を育成した。これが契機となって、各地に管工事組合が組織されることにつながっていく。

このように、我が国において導入された認可制度は技術レベルが十分でない小規模水道の品質確保に極めて有効であった。開発途上国においても、ドナー主導ではなく、自身が

³⁵ 諏訪博是氏

自分たちの計画を主体的に立案できるようになることが大切である³⁶。

ただし、認可による管理は、新規もしくは拡張事業時が対象であり、建設普及を前提としたチェックシステムのため、おおよそ国民皆水道が確立した現在においては、新規創設や拡張が少なくなり、認可申請自体が減少し、機能しなくなっている。そこで、国が維持管理や更新に重点を置いた、「水道事業ビジョン作成の手引き」やアセットマネジメント「簡易支援ツール」等のガイドラインを提示するなどして、各事業体が「水道ビジョン」や「水安全計画」を策定したり、アセットマネジメントを実施したりするよう促している。「水道ビジョン」は、水道事業の現状評価・課題、将来の事業環境の予測、地域の水道の理想像と目標の設定、実現のための方策、モニタリングとフォローアップの方法などを定めた文書である。

一方、経営面では、地方公営企業法に基づく毎年の経営計画（年度予算策定）と議会の承認が経営管理の機能を果たしている。これら各種目標設定やモニタリングによって、建設時にチェックが集中していた認可制度の限界を補完している。

講師の方へ：

我が国の水道施設の技術管理は、水道法にあるように、安全な水を定義し、安全な水を作れる施設を定義し、そのような施設かどうかを認可でチェックする、というシステムになっています。このため、認可に関して技術管理の項で説明しています。

水道事業のライセンス制度をもっている開発途上国はありますが、認可に含まれる技術管理の思想は必ずしも含まれていないので、その違いについては、「テーマ1. 日本の水道の普及を支えた法制度と行政」が参考になります。

³⁶ 齋藤博康氏

8. 教訓

以上に述べた我が国の経験から、他国の参考となる以下の教訓が得られた。

- **（水源の選定）** 水道水源の確保の理想は、汚染されていない水源を探し、これを優先して取水することにある。我が国においては、特に人材や技術を十分に備えることができない中小規模水道においてこの考え方を徹底した。
- **（水源開発）** 我が国では、河川水を秩序だてて利用するために水利権の制度や河川総合開発事業等の取組を推進し、関係者間での利害調整を行いつつ、水源開発する体制を確立した。一方で、大規模なダムの整備に市町村が単独で関わることは困難であったため、公的組織である企業団を複数の市町村が共同で組織して水道用水供給事業を行った。
- **（塩素消毒）** 塩素消毒の徹底も安全な水道水の供給に大きく貢献した。ただし、塩素消毒への依存による浄水処理の軽視、消毒副生成物、水道用資機材の腐食など、塩素消毒によって発生する問題にも留意する必要がある。
- **（凝集沈殿ろ過）** 河川水の処理には凝集沈殿ろ過技術が多く採用されたが、これは河川の下流部に位置する大都市等において、汚染の進んだ原水を、大量の水需要に対応して処理する必要があったことによる。このように、水源の水質や必要な取水量等に応じて、浄水処理技術が選択された。
- **（水源水質悪化への対応）** 我が国では、高度浄水処理、膜処理、再生水利用等の技術開発を通じて、水質汚濁や濁水等の直面する課題に対応してきた。新たな技術は、当初高コストになる傾向があるが、課題解決に向けて活用してきたことが、我が国の水道水質の信頼性につながった。
- **（地盤沈下対策）** 地盤沈下の主な原因の1つは過剰な地下水揚水であり、その抑制には水理地質の把握、地下水揚水量の規制、工業用水等の代替水源の確保、地盤沈下量や地下水位のモニタリング等により、地盤沈下を進行させない範囲に地下水利用を抑えることが有用だった。
- **（送配水システム）** 送配水システムへの投資は水道の投資の2/3を占めるため、配水池、配水ポンプ、配水管網を長期的な視野のもとで効率的に整備することは極めて重要である。我が国においては起伏の多い地形を利用して、高地から低地への送配水が主として採用されてきたが、配水池を高地に設置することは、配水コントロールを容易にする技術システムとして機能した。
- **（配管のブロック化）** 我が国においても、当初は樹枝状配管であったが、市街地の広がりとともに、配水の制御や断水の最小化のためにネットワーク化し、管網が形

成され、さらなる進化形としてブロック化の推進に取り組んでいる。

- **（マスタープランの策定）** 我が国の水道事業は、人口と水需要の増加にあわせて、計画的で段階的な施設の拡張を行った。このことが水道事業の経営を安定させるために重要であった。水需要の構造について変化を予測した上で、水道普及率の向上を計画的に進めるためには、マスタープランが有効である。
- **（認可等の制度）** 我が国では、水道施設の品質や事業経営の継続を担保するため、水道法に基づく認可や施設基準、資格者要件など様々な要素を定めている。さらに、水道ビジョンや水安全計画の策定を推進することで技術面の安定性を確保し、地方公営企業法に基づく毎年度の経営計画（年度予算策定）と議会の承認が経営管理のチェック機能を果たしている。

