

まえがき

21世紀は環境の時代、水の時代、バイオの時代、感染症の時代などといわれている。世界のすべての人々に安全できれいな水道水を供給しようとする機運が高まっているが、途上国では貧困の解消が先決であり、水環境改善の必要性や衛生観念の啓発は困難な状況にある。しかし、水にかかわる地球規模の環境問題、水資源不足、急増する人口問題などにより、飲料水の安全性確保について、真剣に考えなければならなくなっている。

一方、わが国の水道は「安全（安心）でおいしい水」をキャッチフレーズに、より良質な水道水の供給を目指している。水道分野においてもパラダイムはシフトし、厚生労働省が定める「水道ビジョン」に示されているように、より良い水資源を求めつつ、安心・快適な給水の確保、災害などへの対策、環境・エネルギー対策、さらには国際貢献までを考慮する時代になっている。したがって、浄水にのみに特化するのではなく、水循環全体を見通し、人の健康や生活上問題になる病原微生物や有機化学物質に対処しながら、かつ国際的な社会情勢も視野に入れた施策を推進する必要がある。

また、水道はいろいろな仕事ともかかわりを持っている。一例として、保健所の方、あるいは看護師の方から水道のあらましや水質基準について問われることがある。仕事柄水道についての知見が求められるのであろう。

以上のような背景を踏まえて本書は、公衆衛生学の一環としての水道の概念、一般的な浄水技術をはじめ、異臭味や消毒副生成物などを除去する高度浄水処理、耐塩素性の原虫（病原性があり寄生性の原生動物）を不活化させる紫外線消毒、さらに最近普及が目覚ましく21世紀の浄水処理といわれている膜ろ過技術などについても平易に解説している。また、水道水源の水環境を知ることは、安全でおいしい水の供給のために大切であり、水道水質の劣化に影響を与える富栄養化をはじめとする諸現象とその制御については多くのページを割いている。さらに、現在の水道が抱える社会・国際状況についても記述した。そして、本書の執筆をはじめたころに、貞観地震以来の未曾有の東日本大震災に見舞われたことから、水道と地震についても加筆した。

本書は、現在の水道における浄化技術とともに、水道を取り巻く水環境や国際貢献までを網羅し、総合的な専門書のようにみえるかも知れない。特に、衛生的な面についてもできる限り記載するなど、いわゆる水道の教科書とはニュアンスを異にしている。しかし、内容の記述はやさしくしてあることから水道の入門書としても利用できるのも、学生をはじめ、環境工学の技術者、看護師など保健医療で多少なりとも水道水のことを知っておく必要のある方々の参考になれば幸いである。また、コラムも多く配しており、水道に興味を持っている一般の方々にも役立つことを願っている。

最後に、上梓に当たり多大なご尽力を賜った技報堂出版の石井洋平氏に感謝します。また、装画と各章の扉の挿絵は、原著の監修者で、筆者らの恩師、佐藤敦久東北大学名誉教授の令嬢である画家の TAKAKO 氏にお願いしたことを付記します。

平成24年10月

石橋 良信

第1章 水道と水質衛生の背景



水道（上水道）の教科書は「水道施設設計指針」（社団法人 日本水道協会）に準拠して書かれていることが多い。本章でも同様に、水道の定義やシステムの構成についてははじめに示し、また“生命維持のために必要な水”，“暮らしと水”，さらに健康や生活上、施設上支障を生じさせないための“水質基準”などについて記述する。

一方において、水道は人の健康と生活環境の改善を目的とする公衆衛生の一部であり、医学や衛生学と強いかかわりを持っている。水道の歴史も医学上の出来事と対比させて記載すると興味深い関係が見いだされる。例えば、消毒では病原微生物の殺菌、不活化を成し、飲用に適する安全な水供給に寄与し、まさに“予防医学”としての役割を担っており、消毒という概念が生まれてきた背景を知ることが学びの基礎となる。

また、水道にかかわりがあり、発がんのおそれのあるトリハロメタンやテトラクロロエチレンなどに代表される有機化学物質、有害な金属、クリプトスポリジウムやジアルジアをはじめとする病原微生物について詳しく示すなど、本章は公衆衛生面について色濃く記述している。

1.1 水道のしくみ

(1) 水道の定義

水道は、私たちの日常生活や社会経済活動にとって、欠くことのできないインフラである。水道の水は、飲み水のほか、トイレ、洗濯、お風呂に使われている。わが国の水道の水は、そのまま飲むことができる。このような国は、世界で数か国しかない。この「水道」は、1957（昭和32）年に制定された水道法で、「導管及びその他の工作物により、水を人の飲用に適する水として供給する施設の総体をいう。ただし、臨時に施設されたものを除く。」（第3条第1項）と定義されている。ここで用語について説明する。

「導管」とは、水を導くための管状（断面が閉じている状態をいう）のものをいう。樋状（断面の一部が開いている状態をいう）のものでは、水が供給途中で汚染されることもあるからだ。水道にとって、導管はなくてはならないものである。「人の飲用に適する水」とは、広く一般の人が飲んでも健康に悪い影響を及ぼしたり、不快にさせたりすることのない水をいう。また、「施設の総体」とは、水の供給という機能を発揮する取水から配水までの施設全体のことを指す。「臨時に施設されたもの」とは、工事現場などの仮設の給水施設や災害時用の応急給水施設などで、これは水道とはいえない。

(2) 水道の種類

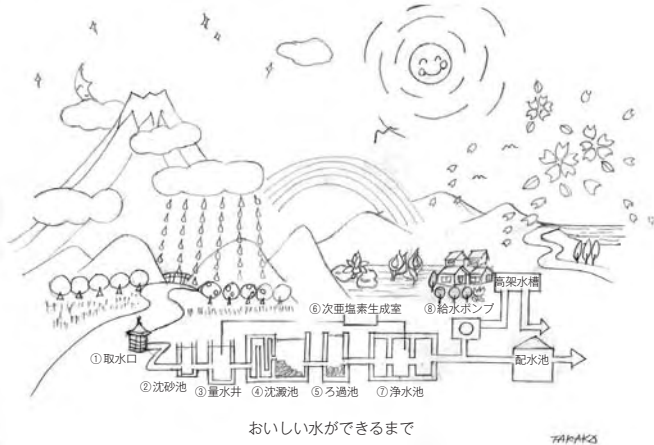
水道は、供給対象および供給規模、供給形態によって、水道事業、簡易水道事業、水道用水供給事業、専用水道、簡易専用水道に区分される。これらの水道は、それぞれに応じた衛生規制などを定めている。水道法では、「水道事業は原則として市町村が経営するもの」（第6条第2項）としており、民間企業が経営する水道はほとんどない。

水道事業：一般の需要に応じて、水道により、100人を超える人に水を供給する事業をいう。そのうち、給水人口が5000人以下である水道により、水を供給する事業を「簡易水道事業」という。

水道用水供給事業：水道に対してその用水を供給する事業をいう。

専用水道：寄宿舎、社宅などの自家用水道で100人を超える居住者に供給するもの、または1日最大給水量が20 m³を超えるものをいう。

第2章 水処理



わが国で多用されている浄水方法は、「急速ろ過法」、「緩速ろ過法」、「膜ろ過」である。

本章では、浄水場で行われる処理について記述している。前半第4節までは一般概念とともに、主に浄水方法の70%以上を占める「急速ろ過法」について、単位操作である沈澱・凝集・ろ過の原理を事例を用いてやさしく解説している。

第5節では、21世紀の浄水処理と目されている「膜ろ過」について示している。なお、「緩速ろ過法」については微生物の作用で浄化する生物処理であり、第7節の微生物のかかわる水処理（生物処理）の中に示した。

上記の沈澱・凝集・ろ過、これに消毒を施した浄水方法は「通常処理」といわれているが、近年は水質汚濁が進み、「通常処理」のみでは微量の有機化学物質や藍藻や放線菌、粘液細菌が産生するにおい成分、溶解性物質は除去できなくなった。そこでオゾンや活性炭、稀に生物処理といった「高度浄水処理」を行う浄水場が多くなった。また、安全性の点から、下痢症を起こす寄生虫の「原虫」がクローズアップされている。原虫は塩素消毒が効かないところが問題であり、これに対処するため、「紫外線消毒」が行われることが多くなっている。第6節では「高度浄水処理」と「紫外線消毒」について、処理の対象となる物質や微生物等の障害の説明を加えながら記述している。

2.1 水道における水処理

(1) 水の性質と水中の物質

水は、命に欠かすことができず、またいろいろなことに利用される。水を利用する立場から考えると、必要な、あるいは備えるべき水質が求められることになる。その水質要件を満足するために、必要な技術が水処理と考えればよい。

水処理を考えるためには、水の本来の性質を把握しておく必要がある。水はわれわれにとっては最も身近な物質の一つであり、地球は水の惑星といわれるように豊富に存在する。

水の基本的な性質はまだわからないことがたくさんあるものの、知られている性質も他の物質と比較して66ともいわれる不思議な性質を有しているといわれている¹⁾。

水処理を考えるうえで、考慮すべき水の性質は、まずは水はほとんどの物質を溶かしこむことができるということである。したがって原子や分子サイズのものが大量に存在する。その性質は海水には人類が発見したほとんどの元素が含まれているといわれていることで説明には十分である。溶けている物質はその大きさが、オングストローム (10^{-10} m) やナノメートル (10^{-9} m) のオーダーであり、その一方で川の濁りなどの原因となる物質は、それらより $10^3 \sim 10^6$ 倍の大きさのマイクロメートルやミリメートルのオーダーである。つまり水中にある物質の大きさの違いはとても大きいのである。また、水中の物質は、無機物か有機物のいずれか、生物体か否か、水との反応性など多様性に富むので、水処理を考えるうえで水中にある物質と水との関係をきっちりと把握することが大切である。

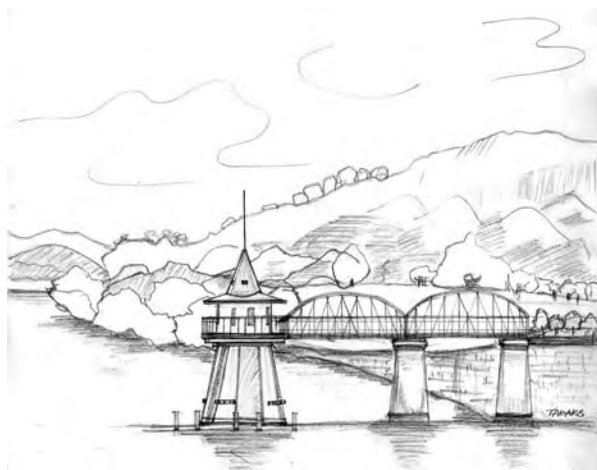


column

大きさの単位のはなし (1) 不純物の大きな違い

長さの標準は1 m (メートル) ですが、1 m の 10^{-3} は1 mm (ミリメートル)、 10^{-6} が1 μ m (マイクロメートル)、 10^{-9} が1 nm (ナノメートル)、さらにその1/10が1 Å (オングストローム) であり、1 Å = 10^{-10} m ですので、1 m と1 Å は、100 億倍の違いがあります。水中の不純物は分子サイズから木の葉などまでサイズのうえで大きな違いがあります。その違いを例えると、テニスボールと地球ほどの差となりますが、水処理ではそのような大きな違い

第3章 水道を取り巻く水環境



取水塔

水道水源がきれいであれば、浄水処理は簡単に行うことができる。反面、水質汚濁が進行すれば、第2章の後半に示した高度浄水処理を施す必要があり、処理は複雑になる。したがって、水環境がどのような状況にあるかを知ることは重要である。

本章では、水資源を保全するための法規制、藻類や微生物が貯水池（ダム湖や湖沼）で異常に増殖し、生物障害を引き起こす「富栄養化」、貯水池内部の水質・水温構造などについて記述する。また、河川および貯水池の浄化対策についても言及している。

最近ではダム湖・湖沼の水、さらに河川水は省庁ごとに目的を持って使われており、水道が独占的、優先的に使うことはできない。それぞれには水利権があり、縦割り行政としての弊害もみられている。今後の水管理のあり方として、森から海まで省庁を越えて一括した管理を行うことができれば合理的と思われ、この流域管理の概念についても記述した。

3.1 水道水源の水質保全への取り組み

(1) 水源二法および条例

日本の環境政策の憲法とも呼べるものが「環境基本法」である。この中では環境保全のための理念と原則を示している。この法律は旧公害対策基本法(1967年)を前身として、現在まで10回の改定(2008年6月まで)を経ながら、典型7公害と呼ばれる大気汚染、水質汚濁、地盤沈下、土壤汚染、騒音、振動、悪臭の防止に加え、地球全体を対象としたグローバルな環境保全のための計画と、より環境負荷の小さな社会の実現を目指すものになっている。この法律では、私たちの健康とより良い生活環境のために「環境基準」を設け、それを達成するために、工場などからの「排水基準」や、「下水道法」による一般家庭からの生活排水対策や下水道の普及を進めているほか、湖沼を対象とした「湖沼水質保全特別措置法」や、私たちの飲料水を守るための「水道法」を規定している。

日本の水道は、その水源の約7割を河川や湖沼などの表流水に頼り、これを浄水処理して給水している。そのためどうしても人間活動の影響を受けやすく、最近では多発する水質汚染事故や異臭味の発生、使用量の増加した農薬への対策のほか、殺菌に広く利用されている塩素に対して強い耐性を持つ病原性微生物や、塩素消毒によって生じるトリハロメタンへの対応も求められている。水源の残り約3割を占めている地下水は、以前は良質で安定な水源とされてきたが、トリクロロエチレンに代表される有機塩素化合物による汚染が広がり、一時大きな社会問題になった。

水源を取り巻くこのような厳しい状況に、水道事業者は常に安全で安心な水道水を供給するために、大変コストのかかる高度浄水処理施設の導入などで対処してきた。しかし、根本的で最も大切な対策のはずである水源水質の保全に対して、水道事業者が積極的にかかわるための法的な手続きはどこにも定められていなかった。1994(平成6)年5月に施行された「水源二法」とは、そのような手続きに関する法的な根拠となるもので、これはまさしく水道事業者にとっての悲願でもあった。

「水源二法」では、安全できれいな水の供給のためには、単に浄水場を高度化するだけではなく、水源自体の水質保全が最も重要であることを謳っている。そして万が一、水道事業者の努力だけで水道の水質基準が確保できない場合には、県

第4章 水道と国際・社会情勢



いろいろな用途に使われる池の水

厚生労働省は水道の将来についての共通認識形成を目指した「水道ビジョン」を策定している。水道の運営基盤の強化、安心・快適な給水の確保、災害対策等の充実、環境・エネルギー対策の強化、国際協力などを通した水道分野の国際貢献の5つがその施策になっている。水道ビジョンにみられるように社会的、国際的に水道の役割は国内のみの課題ではなくなっている。

水道普及率が100%に近いわが国ほど安心して安全な水を飲める恵まれた国はないが、世界的には未だ10億人の人々が水の恩恵にあずかっていない。

本章では、水道分野の国際的な取り組みや資金援助について中国の事例を含めて示す。また、地球規模の環境問題のうち、気候変動と温暖化が水をはじめ、生態系や健康に及ぼす影響について記述した。また、国連では「ミレニアム開発目標」を定め、8つの目標と18のターゲットを掲げている。貧困と飢餓、初等教育、ジェンダー、主要な疾病、飲料水や衛生施設を含む持続可能な環境などの問題をなくすことを目的にしている。ここでは、この中で主に水問題に関した情報を示している。さらに、わが国の技術を生かし、かつ各省や機関、水道事業者、水処理会社などが協働して国際貢献する立場の水ビジネスについて概説した。

4.1 水道ビジョン

2004（平成 16）年 6 月、厚生労働省は「水道ビジョン」を策定した。その基本理念は「世界のトップランナーを目指してチャレンジし続ける水道」とし、水道の現状と将来見通しを分析・評価し、水道のあるべき将来像についての目標を定めてその実現に向けての施策や工程を示している。目標期間は、21 世紀の中ごろを見通し、おおむね 10 年間（目標 2013 年度）としている。

政策の目標は、1) 安心 ―すべての国民が安心して飲める水道水が供給できること、2) 安定 ―いつでもどこでも安定的に生活用水を確保できること、3) 持続 ―地域特性に合った経営基盤を強化する、水道文化・技術を継承と発展、需要者のニーズを踏まえた給水サービスの充実を図る、4) 環境 ―環境保全への貢献、5) 国際 ―わが国の経験の海外移転による国際貢献、となっている。この目標の実現に向けて、a) 水道の運営基盤の強化、b) 安心・快適な給水の確保、c) 災害対策等の充実、d) 環境・エネルギー対策の強化、e) 国際協力等を通じた水道分野の国際貢献の推進が政策に対応した形で説明されている。

具体的な厚生労働省の見解の一部として、a) に関しては、異臭味や塩素臭、色、濁りなどの快適性に関する水質は地域差が大きく、水源から給水栓までの段階においても水道法に基づいて水質管理を徹底するように指導している。また、水源の富栄養化に伴うかび臭の発生、消毒副生成物の生成、塩素注入量の増加に伴う塩素臭などに注視する一方、微量有害化学物質や耐塩素性病原生物などの制御に万全を期すことになっている。b) では長期にわたる不況や少子化、財政の逼迫、若年の水道技術者の減少などが懸案事項になっており、経営・技術の両面からの運営基盤の強化が必要と指摘している。当初、運営基盤の強化の観点からは「水道の広域化」が有効とされてきたが、必ずしも効果が上がっていない面もみえてきている。また、自然災害、中でも地震に対する耐震性能の基準が 2008 年に法的に定められ、速やかな耐震化を求めているほか、テロ、情報システム障害、新型インフルエンザなどの感染症流行などの生命にかかわる非常事態での水の確保に努めることになっている。c) において、現在は水道施設や管路の更新の時期に当たるが、水道の経営状態は逼迫しており、更新が困難になることも考えられ、資金の計画的な確保が求められている。また、わが国では世界に類をみない“飲用に適する水”が供給されており、この文化を将来にわたり守っていくことを規

.....

第5章 水道と地震

—東日本大震災を事例として—



2011（平成 23）年 3 月東北地方は 869 年の貞観地震以来の未曾有の東日本大震災に見舞われた。水道，ガス，電気といったライフラインが断たれ，物流も滞り，寒さの中で今までにない不自由さを経験させられた。中でも長期間にわたり水の確保に苦労させられた。生理的，生活上，また掃除のための水のほか，診療所では治療や器具の消毒の水で苦慮させられ，人工透析患者は大きな病院に移送せざるを得なかった。

地震国であるわが国は地震・耐震に対する知見と先端的技術を有している。水道にあっても施設の耐震化，耐震管の開発を進め，厚生労働省や日本水道協会は過去の大きな地震の教訓を糧として指針や手引きを示す一方，個々の水道事業体でも地震への備えに努めてきた。また，県や市町村間の緊急時の連絡・応援体制の取り決めも十分になされてきた。しかし，東日本大震災は津波の被害も加わり，まさに想定外の大災害であった。

本章では，水道関連部局が地震と水の確保にどのように対処しているのかについて東日本大震災の例を踏まえて概説した。

最近では水道管耐震化が著しく進んでおり、強度のあるダクタイル鋳鉄管の普及、配水管などをリジットにつなぐのではなく、伸び縮みし、かつ抜け落ちない伸縮継手、送水管などをフレキシブルに曲げることができる伸縮可とう管などの開発により、以前に比べて地震による施設や管の被害は減少している。

しかし、水道はライフライン（英語では utilities）の一つであり、地震で施設や送水管、配水管が破損した場合には断水を余儀なくされる。なお、公益財団法人 水道技術研究センター「水道の耐震化計画策定指針の解説」（1997 年）によれば、地震発生から 3 日間は 1 人 1 日当たり 3 L の水道水を供給することになっている。この水量は生理的に必要な水量である。その後、手洗い、風呂、あるいは掃除などの欲求に伴い 1 人 1 日当たり 10 日まで 20 L、21 日まで 100 L、28 日以降約 100 L（被災前の給水量）を給水することになっている。なお、通常の地震では地震後数日のうちに断水は復旧することが多く、1 か月も断水した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）（2011 年）は特別な例といえる。

また、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）（1995 年）のように都市部で被害が多発することもあれば、岩手・宮城内陸地震（2008 年）や新潟県中越沖地震（2007 年）のように湧水を用いる山岳部の簡易水道（給水人口が 101 人以上から 5 000 人までのもの）に被害が生じることもあり、地震が起きた地域や地震の規模によって状況は異なり、対策も個々に対応しなければならない難しさがある。

5.1 緊急時における連絡・応援体制

（1）厚生労働省および日本水道協会¹⁾

大きな地震が発生するたびに省令や指針などが見直されてきたが、兵庫県南部地震が生じたことにより、その教訓を参考にした大幅な見直しが行われた。地震以降の厚生労働省（旧・厚生省）、社団法人 日本水道協会による日本の地震に対する主な省令、指針などの変遷を以下に示す。

- ・ 1995 年 4 月：日本水道協会は 1979 年版の「水道施設耐震工法指針・解説」の改定に着手
- ・ 1995 年 6 月：厚生省「厚生省水道耐震化施策検討会」を設置
- ・ 1996 年 1 月：厚生省「水道の耐震化計画策定指針（案）」を公表、同年日本