

刊行に寄せて

北海道大学名誉教授（15代総長）

放送大学名誉教授（5代学長）

工学博士 丹保憲仁

世界の人口は増加の途を辿り続けやがて80億人に到達せんとしている。太陽系の惑星である地球の熱力学的な安定状態を揺るがすリスクを孕みながら、地球の化石資源と自然環境の生産能を収奪し、人類の生存すら危うくしようともしている。

1872年に、全ての資機材を英国から輸入して整備された横浜水道から始まる衛生的な水を有圧で常時給水することができる水道は大都市を中心に整備されてきた。さらに、経済成長とともに地方の山村にまで整備してきた。全ての国民が利用している水道は1980年前後から整備された施設が多く、物理的、機能的にも耐用年数に到達しつつある。

世界の国々と異なり、日本は人口が減少している。1964年の東京オリンピックが開催された頃の人口は約9700万人であり、2008年の約1億2800万人をピークにして減少し、2050年には9500万人になると推計されている。

人口が増加することを前提としてこれまで整備されてきた水道施設能力のまま更新するのではなく、新たな施設の耐用年数が来る時点の人口を前提として更新をすべきである。更新される施設はやがて非効率なものとなり、資源の浪費につながるからである。さらには、全地球的な気候変動抑制のための責務も果たさなければならないからである。

過剰な施設を整備しても、やがては水道使用量が増加して適正規模となるというこれまでの安易な立場から脱却しなければならない。そのためには、水資源の存在形態から始まって、水利用の際の水質規制とそのため水質管理、水処理技術について、改めて体系的に考察することが求められるのである。

刊行に寄せて

本書はこれまで水道で蓄積してきた理論と実践を丁寧かつ詳細に記述している。水資源の管理，利用，環境規制を仕事にしている技術者やこの分野で学ぼうとしている大学，高等専門学校 학생とその教員にとって，頼りになる参考資料である。

この本が水資源，水質管理工学分野の人々にとって，価値ある書として広く用いられることを，心底から希求している。

2021年11月

序 言

国連が定める国際目標である SDGs（持続可能な開発目標）に「安全な水と衛生的なトイレの普及」も掲げられている。安全な水と衛生的なトイレは、人間の尊厳の源でもある健康を実現するために必要なインフラであり、これまでも国際的な枠組みの中でそれらの整備が推進されてきた。しかし、それらのインフラがまだ整っていない発展途上国でも、新型コロナウイルスによる感染症の猛威にさらされており、それらの国々の貧困地域に暮らす人々は、より厳しい現実に苦しんでいる。

感染症対策は貧困対策と同類であるともいえる。半世紀前の疲弊した日本では、感染症対策が緊喫の社会的な関心事であった。日本脳炎ウイルスを媒介する衛生昆虫対策、住血吸虫、回虫やエキノコックスなどの寄生虫対策あるいは結核等の呼吸器系感染症や赤痢、ポリオ等の消化器系感染症まで、まさに生活環境と関係している感染症が健康の質を支配していた。

いつでも、どこでも、衛生的な水を利用できる水道を整備するため水道法が制定され水道整備が促進された。また、生活排水の衛生的処理施設の整備も進められ、1970年代には感染症の脅威からほぼ解放されるようになった。感染症が減少し、栄養水準も高まり、生活環境の快適性も高まってきた。これが、SDGs 目標である「安全な水道水と衛生的なトイレの効果」であり、日本国憲法 25 条の生存権条項でいう「国は、すべての生活部面について社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない。」につながる社会インフラの整備とその維持、運用を推進した結果である。手を洗う水さえなかった社会から、手洗いやうがいが生活習慣として定着する社会に発展したのである。

しかし、工業化や無秩序とも思われる都市開発・国土開発は、公害・環境汚染という新たな課題を迫るようになった。感染症対策から環境汚染物質による健康被害対策、生活習慣病ともいわれる慢性疾患対策、とりわけがん対策に重点が移行して行った。環境汚染物質であるフッ素や水銀等の因果関係や量・作用関係が明らかな健康障害ばかりでなく、ヒトでの因果関係が明瞭でないばか

序 言

りか、量・作用関係すら明らかでない発がん物質による健康影響も社会関心事となった。すなわち、主要な日本人の疾病要因となってきた生活習慣病やがんが公衆衛生分野で重要なこととなった。その結果、経口摂取による健康影響が明らかでなかった有機溶剤による地下水汚染、健康を損なうほどではないものの水道水の異臭味や感染症対策として不可欠な塩素消毒によって生成される有機塩素化学物質の制御と管理が関心事となった。さらには、新型コロナウイルスによる呼吸器系の新興感染症のように、国際的な交流に伴い国内に流入した大腸菌 O157、クリプトスポリジウム、ウイルス等による水系新興感染症もあり、健康な生活を営み難くする新興感染症のリスクが高まっている。

水道水の質の管理と制御の規範である水道水の水質基準項目は、ヒトの健康影響についての量・作用関係に基づいて基準値が設定されている。さらには、実験動物で影響が認められる物質でも、その量・作用関係によるあるリスクの発生確率から基準値が設定されているものもある。

水道施設は、水質基準を遵守できるように整備し、維持管理することとされている。水質基準値が定められている物質であっても新たなリスク情報が明らかになり、水質基準値が改定される。また、これまではリスク管理の対象としない、すなわち、水質基準値を定められていなかった化学物質についての新たなリスク情報が認められ、それに基づいた水質基準値が新たに追加されている。水質基準値の改定や追加されることにより、基準値を満たすことができるように水道施設も対応することが求められている。例えば、温泉水の影響を受けている水道原水に存在することが多いヒ素の水質基準値が 50 ppb から 10 ppb に変更された。それまではかつての基準値を満たす水道水を供給できたが、ヒ素を除去することが困難な浄水施設であるため、改正された基準値を満たすためにその浄水施設を改造することや、原水の性状によっては廃棄した事例がある。すなわち、浄水施設を構成する処理プロセスの機能を把握し、それらの機能を適確に活用し、必要に応じて補強・補完する合理的な処理プロセスに改善することになる。

水道施設は都市計画にもとづき給水区域が定められ、給水区域内人口推計に基づき計画給水量を定め施設整備を進めてきた。そこでは、経済成長と生活水準向上に伴い給水量は増加するというシナリオの基に進められてきた。しかし、

少子高齢化社会での社会・経済活動の低下と少子化による人口減少は必然的に水道使用量を減少させて、料金収入も減少し、独立採算制で運営されてきた水道事業の持続性を危うくすることになる。

水道施設は、計画水量で運用される時の要求水質と水量を、経済的かつエネルギー高効率であるように整備されている。すなわち、これまで整備されてきた水道施設では水量に対する柔軟性が小さいため、給水量が減少すると量的にも機能的にも陳腐で過剰な施設となることになる。さらには、労働人口の減少により水道施設の運転・維持管理に必要な専門家の確保も困難になる。

地球の温暖化に伴う気候変化も水道事業も影響を及ぼすことは必至である。安全で安心して利用できる水道水を供給するために消費しているエネルギー、すなわち温暖化ガスの発生量を減少するという国際的な責務も求められる。また、気候変動は降雨の強度や頻度を変化させ、河川など水域への流出形態も変化させて、例えば土砂の流出量も変化して河川水の濁度が上昇して、これまでの浄水施設では対応できなくなる。また、気温の上昇は、貯水池や湖沼の植物生産能を高めることから藻類種や藻類量にも対応できるようにも浄水施設の機能を高めなければならなくなる。少子高齢化社会と地球温暖化の影響から既存施設をダウンサイジングするとともに、高度な機能とともに省力運転管理ができる水道施設に更新されていかなければならない。

浄水施設を含めて水道施設の多くは半世紀以上前に整備され、すでに構造的にも、機能的にも老朽化し、更新することが迫られている。すなわち、少子高齢化社会を迎えて水使用量が加速度的に減少し、余剰施設を減少させていかなければならない。施設能力ばかりでなく、気候変動による水循環系の量的・質的变化にも対処でき、また、新たに明らかにされようとしている種々の健康影響リスクを制御でき、さらには、気候変動に関する温暖化ガスの発生量も抑制できる技術への転換が求められている。それにはこれまで汎用されてきた技術でこれからも適用できる技術を認識したうえで、強靱で、対応範囲が広い柔軟な機能を持つ創造的な技術が開発されて導入されなければならない。

不確定要素の多い次世代で活用されるべき浄水技術のあり方を示唆し、考えるために本書を出版することとした。本書は、国や地方自治体の衛生・環境行政に携わる者から、上下水道事業体の技術者、コンサルタントやプラントメー

序 言

カー等の技術者，大学等での教育・研究者が分担執筆した。執筆者の多くは，これまで培ってきた知識や経験を次世代に継承しないまま，あるいは，官・民事業体でのリーダーとしての活動を継承しながらも，それぞれの知的資産を次世代の若き技術者に伝えきれないままであることへの焦心を込めて執筆した。

本書が，多くの関係者や次世代の浄水技術を担う若き専門家の参考になることを願っている。

最後に，本書を出版してくださった技報堂出版社に深甚より感謝いたします。

2021年12月

編著者：眞柄泰基，渡辺義公，松井佳彦

執筆者一覧（執筆順）

氏名	執筆担当 章	所属等
清塚雅彦	（第1章, 第7章）	（公財）水道技術研究センター
眞柄泰基	（第2章, 第5章）	全国簡易水道協議会
相澤貴子	（第2章, 第5章）	関東学院大学工学研究所研究員
鎌田素之	（第2章）	関東学院大学工学部准教授
伊藤光明	（第2章）	（株）いであ
戸來伸一	（第3章）	（株）東京設計事務所
馬場未央	（第3章）	（株）東京設計事務所
岡中孝美	（第3章）	（株）日水コン
山本有孝	（第3章）	（株）NJS
松井佳彦	（第4章, 第5章）	北海道大学工学研究科教授
渡辺義公	（第4章）	北海道大学名誉教授
海老江邦雄	（第4章）	北見工業大学名誉教授
堤 行彦	（第4章）	福山市立大学教授
福士憲一	（第4章）	八戸工業大学名誉教授
伊藤雅喜	（第4章）	立命館大学工学部客員教授
森岡崇行	（第5章）	富士電機（株）
加藤康弘	（第5章）	メタウォーター（株）
青木未知子	（第5章）	メタウォーター（株）
松下 拓	（第5章）	北海道大学工学研究科准教授
武藏昌広	（第5章）	（株）水機テクノス
杉本隆仁	（第5章）	メタウォーター（株）
田村聡志	（第6章）	（公社）日本水道協会
矢尾 眞	（第6章）	前澤工業（株）
根本雄一	（第6章）	前澤工業（株）
品田 司	（第6章）	（株）西原環境
田中宏樹	（第6章）	（株）西原環境
鳥羽裕一郎	（第6章）	オルガノ（株）
加藤俊雄	（第6章）	メタウォーター（株）
安藤直哉	（第6章）	北海学園大学工学部准教授

目 次

刊行に寄せて	i
序 言	iii
第1章 水資源と水道水源	1
1.1 水資源賦存量	2
1.2 環境基準と水道水源	6
1.3 水道水源の位置エネルギー	9
第2章 水道水と水質基準	13
2.1 水道水質基準の意義と設定方法	14
2.2 水質基準の変遷と体系	22
2.3 水質管理目標設定項目，水質要検討項目	28
2.4 水質検査	33
2.5 給水停止と水道水質の特徴	35
第3章 浄水施設計画	39
3.1 浄水施設計画の基本	40
3.1.1 浄水施設の計画に関する条件の変化	40
3.1.2 計画目標年次の設定	41
3.1.3 計画一日最大給水量の設定	42
3.1.4 計画浄水量の設定	43
3.1.5 水源（取水地点）と浄水場の位置の選定	44
3.1.6 浄水処理方式の選定	45
3.1.7 官民連携による更新計画	46
3.2 浄水施設の機能	47
3.2.1 浄水施設能力の考え方	47
3.2.2 水質変換機能	47

3.2.3	給水継続機能	52
3.2.4	浄水停止機能	53
3.2.5	水量変動調整機能	54
第4章	固液分離技術	59
4.1	概要	60
4.2	凝集	63
4.2.1	凝集	63
4.2.2	凝集剤	65
4.3	フロック形成	76
4.3.1	フロックの物性	77
4.3.2	フロック形成過程の原理	81
4.3.3	フロック形成池の操作	87
4.4	沈殿	97
4.4.1	沈降様式	97
4.4.2	単粒子の沈降速度	98
4.4.3	沈殿池	100
4.5	急速ろ過	117
4.5.1	急速ろ過池の構造と運転管理	117
4.5.2	急速ろ過層の洗浄再生機構	120
4.5.3	適正運転管理と処理性の改善	127
4.6	緩速砂ろ過	135
4.6.1	緩速砂ろ過の機能	135
4.6.2	砂ろ過における溶解性物質の除去	136
4.6.3	緩速ろ過池の運用状況	139
4.7	膜ろ過	145
4.7.1	浄水膜の種類と分離性能	145
4.7.2	MF（精密ろ過膜）、UF（限外ろ過膜）の特性	149
4.7.3	水道におけるMF/UFの事例	161
4.7.4	RO（逆浸透）	164

目 次

第5章 相・質変換技術の最先端.....	171
5.1 活性炭処理.....	172
5.1.1 活 性 炭.....	172
5.1.2 吸着のプロセスと吸着等温線.....	173
5.1.3 粉末活性炭.....	175
5.1.4 活性炭の添加による吸着除去.....	177
5.1.5 粒状活性炭層による吸着除去.....	180
5.2 オゾン処理.....	186
5.2.1 概 要.....	186
5.2.2 オゾン消費量.....	188
5.2.3 オゾン処理副生成物.....	189
5.2.4 促進酸化処理.....	191
5.2.5 オゾン処理設備.....	192
5.2.6 オゾン発生器.....	194
5.3 塩素処理, 塩素消毒.....	198
5.3.1 消毒の意義.....	198
5.3.2 感染症と感染性微生物.....	199
5.3.3 塩素消毒.....	204
5.3.4 次亜塩素酸注入設備.....	207
5.3.5 塩素処理副生成物.....	209
5.3.6 クリプトスポリジウム対策.....	214
第6章 特定処理.....	219
6.1 概 要.....	220
6.2 生物活性炭処理.....	222
6.2.1 浄化機構.....	223
6.2.2 粒状活性炭とその更新.....	224
6.3 帯磁性イオン交換樹脂処理.....	226
6.4 超高速凝集沈殿法.....	229
6.5 ストリッピング処理.....	232

6.6	晶析軟水化処理	235
6.7	オランダにおける砂丘浸透処理	238
6.8	オランダにおける特定処理プロセス	241
第7章	排水処理	245
7.1	排水処理の計画	246
7.2	排水処理システムの構成	250
7.3	上下水道排水一体化処理	259
索 引	263

第 1 章

水資源と水道水源

1.1 水資源賦存量

日本列島はアジアモンスーン帯の東端に位置し、その年平均降水量は1800 mmと、世界の国々の中でも多く、森林被覆率も約65%と高い。しかし、国民1人当たりの年降水総量は、世界各国と比べると必ずしも高くなく、乾燥地域が多いイランと同程度である。さらに、日本の地形が急峻で河川延長が短いという、降雨が梅雨時や台風期に集中しているため、降雨の多くは利用されないまま直接海域に流出している。

地球の温暖化に伴う気候変動の影響によるが、1965年ごろから年降水量は、**図 1.1.1** に示すように多雨の年と少雨の年とがある¹⁾。

年平均降水量は1900年では約1650 mmであったが2019年では約1490 mmと減少傾向であるとともに、変動幅が大きくなってきている。さらには、渇水年で降雨量の減少が顕著になってきている。また、降雨強度が極端に大きな降水がより頻繁に発生するようになってきている。このような降水では、表土での流出速度が大きくなるため、表土の流出量が大きくなるリスクが高まっている。

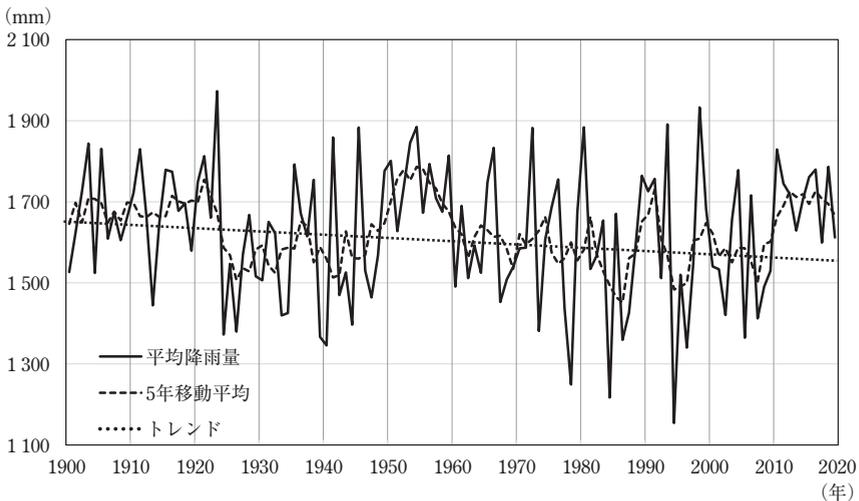


図 1.1.1 日本の年平均降水量の経年変化

降雨量から蒸発散量を差し引いた値を国土面積に乗じて求められる平均水資源賦存量値は約 4 300 億 m^3 /年であり、渇水年では約 2 700 億 m^3 /年である。この水資源賦存量を全人口で除した 1 人当たりの水資源賦存量は平均で約 3 500 m^3 /年である。

この 1 人当たりの水資源賦存量は、地域内人口が多い関東臨海で約 400 mm/年、近畿臨海で約 1 200 mm/年や北九州地域で 2 300 mm/年と少ない。そのためこれらの地域で少雨によるダム、貯水池の貯留水量の低下や河川流量の減少によって渇水が生じた場合、社会的な影響は、深刻なことになる¹⁾とされている。

水資源賦存量のうち河川を経て海域に流出している水量を活用するため、河川上中流部にダム・貯水池を整備することや、あるいは、河川下流部に堰を設けて海水遡上を防ぐなどして淡水資源の有効活用を図っている。水資源賦存量の約 30% 程度が農業用水、都市用水や工業用水として利用されている。水資源賦存量に対する利用率の地域的な分布は図 1.1.2 に示す。農業用水を除いても関東臨海では水資源賦存量の 50%、近畿臨海および北九州では約 30% を利用している。

都市用水等の水消費に伴って不可避免的に排水が発生し、排水中の汚濁物質は河川等公共用水域に排出されている。このような排水による公共水域の水質汚

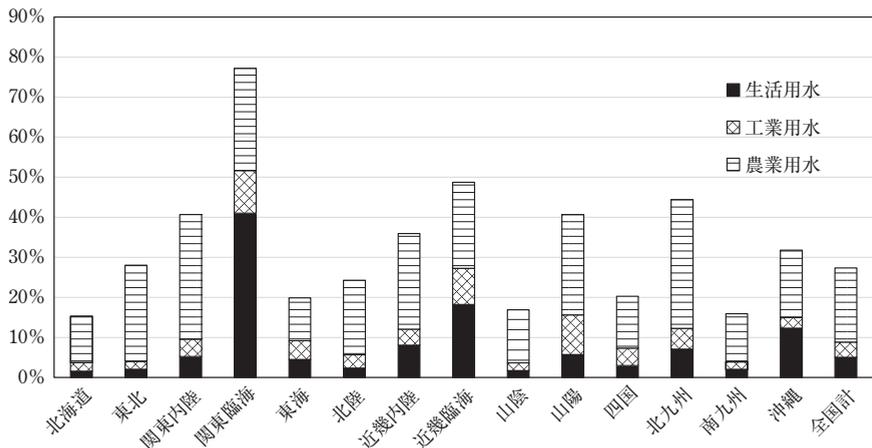


図 1.1.2 水資源の地域別用途別使用率 (対渇水年 2015 年推計)

浄水技術

一次世代に向けて一

定価はカバーに表示してあります。

2022年1月20日 1版1刷 発行

ISBN978-4-7655-3479-6 C3050

編 者 眞 柄 泰 基
渡 辺 義 公
松 井 佳 彦
発 行 者 長 滋 彦
発 行 所 技報堂出版株式会社

日本書籍出版協会会員
自然科学書協会会員
土木・建築書協会会員

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-2-5
電 話 営 業 (03)(5217)0885
編 集 (03)(5217)0881
F A X (03)(5217)0886
振替口座 00140-4-10
<http://gihodobooks.jp/>

Printed in Japan

© Magara Yasumoto, Watanabe Yoshimasa and Matsui Yoshihiko, 2022

装幀 浜田晃一 印刷・製本 愛甲社

落丁・乱丁はお取り替えます。

JCOPY 〈出版者著作権管理機構 委託出版物〉

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話：03-3513-6969, FAX：03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

◆ 小社刊行図書のご案内 ◆

定価につきましては小社ホームページ (<http://gihodobooks.jp/>) をご確認ください。

水道水質管理と水源保全

国包章一 編著
A5・288頁

—各国の制度と動向—

【内容紹介】 水道の水質管理や水源保全に諸外国がどのように取り組んでいるのか、水道水の安全性を確保するための諸外国における制度や取り組みについて詳らかにした書。世界各国の国としての基礎データ、水道の基本情報のほか、水道水質管理に関係する主な法令、水道水質基準などについて、共通して紹介する。参考文献リストをまとめて収録したCDも付属。

水道

佐藤敦久 監修／石橋良信・西村 修・今野 弘・秋葉道宏 編著
A5・192頁

—安心・快適な飲み水—

【内容紹介】 飲み水のさらなる安全性が求められている。本書は生活に欠くことのできない水道について、そのしくみと歴史、水処理の原理と各種水処理技術、水道水源を取り巻く水環境と水質浄化技術、途上国への技術協力や水ビジネスなど水道をめぐる国際情勢、そして東日本大震災を事例とした水道の耐震技術、応援体制など、多角的な視点からやさしく解説した。

オゾンと水処理

海賀信好 著
A5・222頁

【内容紹介】 [藤田賢二先生(東京大学名誉教授)推薦文より抜粋]

(前略) 本書はオゾンに関して氏自ら研究し発見した事柄と世界を旅して得た知見を集積したものである。本書の特徴はまず達意の文章にある。化学者でなくては書けない表現が随所に見られる。たとえば、「臭気分子1個を分解するのにオゾン分子10500～11400個が必要」といった記述に接すると、小生など技術者の書くものが無味乾燥だったことに思い当たる。記述もさることながら章立てがユニークである。系統的でなく、25の話題を25の章を立てて述べている。この「オゾンに関する25章」ともいうべき体裁の本書により、読者は知りたい事柄を辞書をひもとくように調べることができよう。このように、本書はオゾンを一から勉強する教科書ではない。オゾンを使おうとする専門家が、抱える問題を解決する糸口をすばやく探索するための書—玄人向け事典—である。水処理界はまた1冊良書を得た。

紫外線照射

平田 強 編著／岩崎達行・大瀧雅寛・片山浩之・神子直之・木村憲司・土佐光司・松本直秀・本山信行・森田重光 著
B5・180頁

—水の消毒への適用性—

【内容紹介】 原虫類の感染形であるシストやオーシストは、著しい塩素抵抗性を持ち、汚染水源から取水する水道を介して集団感染が生じさせる。小規模浄水施設では、急速ろ過処理、塩素・二酸化塩素・オゾン等の化学消毒剤処理、膜処理等が立地、経済等の条件面で現実的でない点が多々ある。そこで、紫外線照射が原虫への有効な消毒方法であることがクローズアップされてきた。紫外線照射による消毒方法は、欧米における永年にわたる実績により技術的にはほぼ確立し、導入に問題がないこと、実質上、消毒副生成物を生成せず後段に付加施設を要しないこと、他の処理方法に比べ非常に廉価であることなど、幾多の利点を兼ね備えた現実的な消毒技術といえる。厚生労働省は、2007年4月『クリプトスポリジウム等対策指針』を施行し、その中で限定的ではあるが紫外線照射を新たなクリプトスポリジウム対策技術として認めている。本書は、このような状況に鑑みて、基礎から応用まで紫外線照射の持つ可能性を追求したものである。



技報堂出版

TEL 営業 03(5217)0885 編集 03(5217)0881
FAX 03(5217)0886