

図-9 凝集剤による沈澱水中アルミニウム濃度の比較 (実験①)

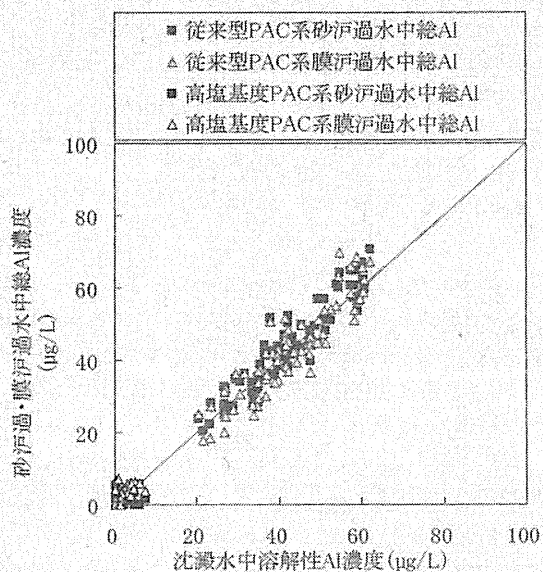


図-10 砂ろ過水中総アルミニウム濃度と膜ろ過水中総アルミニウム濃度の関係 (実験①)

高塩基度 PAC を使用した場合の沈澱水中溶解性アルミニウム濃度と砂ろ過水及び膜ろ過水中総アルミニウム濃度との関係を示す。砂ろ過水及び膜ろ過水中総アルミニウム濃度は $20\mu\text{g/L}$ ~ $70\mu\text{g/L}$ の範囲で両者は同程度で、沈澱水中溶解性アルミニウム濃度と同程度だった。すなわち、砂ろ過及び膜ろ過により沈澱水中の懸濁態で存在するアルミニウムは除去できたが、溶解性のアルミニウムは除去できなかった。このことから、水道水中のアルミニウム濃度を低減するには、沈澱水中溶解性アルミニウム濃度を低減することが不可欠であ

ることが示された。

以上のことから、高塩基度 PAC は従来型 PAC と同一の運転条件において、残留アルミニウムの低減効果があるものと考えられた。

4. まとめ

地下水にカオリンを添加した実験原水について、パイロットスケールの実験装置にて、高塩基度 PAC の濁度の除去性とアルミニウムの残留性に関して検討した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 高塩基度 PAC を使用した場合の凝集沈澱プロセスにおける濁度の除去性は、従来型 PAC を使用した場合と同等であった。
- 2) 高塩基度 PAC 系砂ろ過水は、従来型 PAC 系砂ろ過水より洗浄後の初期漏出濁度の清澄化が早くなった。
- 3) 高塩基度 PAC 系沈澱水中フロックは、従来型 PAC 系より粒径が大きく、ゼータ電位が至適凝集領域に近かった。これらによって、砂ろ過水初期漏出濁度の清澄化が早まるものと考えられた。
- 4) 膜ろ過水濁度は、高塩基度 PAC 系も従来型 PAC 系も、高感度濁度計の検出下限値以下だった。
- 5) 砂ろ過損失水頭及び膜差圧に対する高塩基度 PAC と従来型 PAC の使用の差異は限定的だったことから、高塩基度 PAC を使用することに関するろ過性への影響は小さいと考えられた。
- 6) 高塩基度 PAC 系沈澱水中に残留する溶解性アルミニウムは、従来型 PAC 系より低かった。また、砂ろ過水及び膜ろ過水には沈澱水中溶解性アルミニウムと同程度残留した。そのため、水道水中アルミニウムの低減には、沈澱水中溶解性アルミニウムの低減が不可欠であることが示された。
- 7) 高塩基度 PAC は、従来型 PAC と同一の運転条件にて、水道水中アルミニウムを低減できることが示された。

謝 辞

本研究は、厚生労働科学研究費補助金 健康安全・危機管理対策総合研究事業「飲料水の水質リスク管理に関する統括的研究」の一部として行わ

れた。本研究を遂行するにあたりご協力いただいた、平成21年度国立保健医療科学院水道工学研修の研修生である南方則之氏、堀野秀一氏、佐藤研一郎氏に感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：水道統計 施設・業務編 (平成19年度)
- 2) Martyn C. N, Barker D. J. P, Osmond C: Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminum in drinking water. *Lancet*, Vol. 1, pp.59-62 (1989)
- 3) McLachlan D. R. C, Bergeron C, Smith J. E: Risk for neuropathologically confirmed Alzheimer's disease and residual aluminum in municipal drinking water employing weighted residential histories. *Neurology*, Vol.46, pp.401-405 (1996)
- 4) Virginie R, Daniel C, Helene J. G, Dartigues J. F: Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's disease: An 8-year follow-up study, *American Journal of Epidemiology*, Vol. 152, pp.59-65 (2000)
- 5) 厚生労働省健康局水道課：第6回厚生科学審議会生活環境水道部会配付資料水質基準の見直し等について (案)
- 6) 眞柄泰基、伊藤雅喜、国包章一：厚生労働科学研究「最新の科学的知見に基づく水質基準の見直し等に関する研究—無機分科会—」分担研究報告書、pp.19-24 (2005)
- 7) 内山恵、大野浩一、亀井翼、眞柄泰基：PSIを用いたフロキュレーター設計の基礎的研究、水道協会雑誌、第72巻、第6号、pp.2-11 (2003)
- 8) 奥田哲士、Phengxay Deevanhxay、長谷川孝雄、西嶋涉、岡田光正：ポリシリカ鉄凝集剤を用いた凝集沈殿—急速河過処理の特性、水道協会雑誌、第73巻、第11号、pp.2-10 (2004)
- 9) 伊藤豊彰：水田の水環境保全機能 環境保全型水田農業におけるポリシリカ鉄凝集剤 (PSI) 浄水発生土資源化の可能性、用水と廃水、Vol.52, No.1, pp.76-82 (2010)
- 10) 海老江邦雄、東義洋、浅香博則、山木暁、萩下隆、凝集処理における攪拌条件の最適化に関する基礎的検討、第52回全国水道研究発表会論文集、pp.96-97 (2001)
- 11) 海老江邦雄、東義洋、山木暁：凝集沈殿の処理性改善に関する基礎的研究—GR値の上昇による濁度とSTIの低減化—、水道協会雑誌、第71巻、第9号、pp.11-21 (2002)
- 12) 佐藤文彦、巻木康宏、梶早苗、石原俊、松井佳彦：浄水中の残留アルミニウムを低減する新しいポリ塩化アルミニウム、第60回全国水道研究発表会論文集、pp.108-109 (2009)
- 13) 木村正興、大野浩一、松下拓、松井佳彦：高塩基度ポリ塩化アルミニウムを用いた凝集処理時におけるアルミニウム残留性の評価、第60回全国水道研究発表会論文集、pp.48-449 (2009)
- 14) 松井佳彦、伊藤雅喜、国包章一：無機物質分科会分担研究報告書、厚生労働科学研究「飲料水の水質リスク管理に関する総合的研究」研究報告書、pp.71-97 (2008)
- 15) Mingquan Yan, Dongsheng Wang, Jianfeng Yu, Jinren Ni, Marc Edwards, Jiuhui Qu: Enhanced coagulation with polyaluminum chlorides: Role of pH/Alkalinity and speciation. *Chemosphere*, Vol.71, No.9, pp.1665-1673 (2008)
- 16) WU Xiaohong, WANG Dongsheng, GE Xiaopeng, TANG Hongxiao, YE Changqing: Effect of speciation transformation on the coagulation behavior of Al13 and Al13 aggregates. *Water Science & Technology*, Vol.59, No.4, pp.815-822 (2009)
- 17) YAN Mingquan, WANG Dongsheng, QU Jiuhui, HE Wenjie, CHOW Christopher W. K., Relative importance of hydrolyzed Al (III) species ( $Al_3$ ,  $Al_6$ , and  $Al_9$ ) during coagulation with polyaluminum chloride: A case study with the typical micro-polluted source waters, *Journal of colloid and interface science*, Vol.316, No.2, pp.482-489 (2007)
- 18) 石川太了、木村正興、松井佳彦、松下拓、大野浩一：高塩基度 PACI を用いた凝集処理後の残留アルミニウム濃度とその温度影響、第61回全国水道研究発表会論文集、pp.236-237 (2010)
- 19) 海老江邦雄、土井克哉：定速砂河過における凝集フロクの河層内挙動と河過水水質の改善、水道協会雑誌、第67巻、第10号、pp.25-35 (1998)
- 20) 汚泥処理上からみた合理的浄水方法、汚泥処理上からみた合理的浄水方法に関する研究総括報告書 (1980)
- 21) 厚生労働省健康局水道課、水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針
- 22) 加藤絵美、村田直樹、川瀬優治、青木伸浩、松井佳彦：高塩基度ポリ塩化アルミニウムによる膜河過性の検討、第61回全国水道研究発表会論文集、pp.248-249 (2010)
- 23) 前田智宏、木村克輝、渡辺義公：前凝集/MF 膜処理において凝集条件が膜ファウリングに及ぼす影響、第13回衛生工学シンポジウム論文集、pp.235-238 (2005)
- 24) 峯岸進一、池田啓一、渡辺義公、山村弘之：浄水処理における中空糸UF膜のファウリング物質の把握、水道協会雑誌、第71巻、第5号、pp.2-13 (2002)
- 25) 朴宰亨、滝沢智、片山浩之、大垣真一郎：生物河過前処理による精密河過膜のファウリング制御、水道協会雑誌、第71巻、第3号、pp.19-31 (2002)
- 26) 安藤由華、湯浅晶、李富生、松下拓：膜河過抵抗を抑制させるための凝集処理条件に関する検討、岐阜大学大学院修士論文 (2007)
- 27) 加藤絵美、村田直樹、川瀬優治、青木伸浩、松井佳彦：高塩基度ポリ塩化アルミニウムによる膜河過性の検討、第61回全国水道研究発表会論文集、pp.248-249 (2010)

(平成22年5月6日受付)

# 水安全計画品質保証ツールを用いた水安全計画の評価と改善\*

小坂 浩司 鈴木 克徳

## 1. はじめに

世界保健機関 (World Health Organization, WHO) は、WHO 飲料水水質ガイドライン第3版<sup>1)</sup>で、水道システムの水源から消費者までの各段階でリスク評価とリスク管理のアプローチを適用する統合的な水質管理の方法として、水安全計画を提唱した。水安全計画は、食品産業で利用されている危害分析重要管理点の考え方を取り入れている。これ以降、世界各国の水道事業者により、水安全計画の策定と運用が進められている。また、2009年、WHOは国際水協会 (International Water Association, IWA) と共同で、水安全計画の策定を支援する、水安全計画マニュアルを公表した<sup>2)</sup>。

国内では、厚生労働省健康局水道課が、WHOの動向を受け、2008年、水安全計画策定ガイドラインを公表した<sup>3)</sup>。また、2011年度頃までに、水安全計画の策定を推奨している<sup>4)</sup>。現在、水安全計画は、数十以上の国内の水道事業者により策定が行われている<sup>5-7)</sup>。

一方、水安全計画の策定や運用に対し、その状況を客観的に評価し、継続的に改善されるような取り組みも必要となる。2010年、WHOとIWAは、策定、運用されている、あるいは策定途中の水安全計画を評価し、その改善の手助けを目的に、水安全計画品質保証ツールを公表した<sup>8)</sup>。本稿では、水安全計画品質保証ツールについて紹介を行うとともに、ツールのドラフト版を用いて実

施された、パイロット試験について報告する。

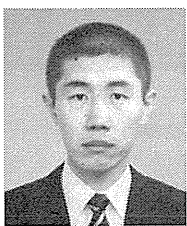
## 2. 水安全計画品質保証ツールについて

### 2.1 概要

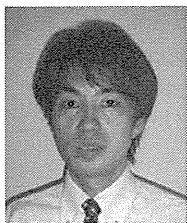
水安全計画品質保証ツールは、Excelをベースとしたツールであり、水道事業者やその類似団体が、水安全計画の完成度を評価し、効率的に運用していくのを支援することを目的としている<sup>9,10)</sup>。ツールとその使用方法を詳述している水安全計画品質保証ツールユーザーマニュアル<sup>11)</sup>は、WHOやIWAのウェブサイト<sup>9,10)</sup>から入手可能である。

WHOとIWAは、ツールの利点として、水安全計画の運用にともなって進展している箇所や改善箇所が、系統的に明らかになることを挙げている<sup>11)</sup>。水安全計画を策定中の場合には、その手引きとして利用することもできる。また、ツールの利用対象は、水道事業者やその類似団体の水安全計画チームであるが、水安全計画の策定や運用状況を監視したり、評価を行う、上級管理者や内部、外部の監査人も対象となる。

水安全計画品質保証ツールによる水安全計画やその運用の評価は、12の表で構成された、各質問事項に回答することで行う。図1に評価入力セクションの例<sup>11)</sup>を、表1に各表題と質問数を示す。表番号1, 2は、水道事業者と対象水道システムに関する一般情報である。表番号3~12は、水安全計画チームの結成から水安全計画のレビューに至る、水安全計画の策定と運用に係わる各ステップに対応している。質問によっては、同一の内容を水道システムの各要素 (水源流域、浄水処理、配水、給水末端) 等に対して回答する。表1で、括弧内の数値は、各要素等に対して回答する質問を、それぞれ別の質問として数えた場合の質問数である。質問数の合計は85に



Koji Kosaka  
平成14年 京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了  
同年 日本学術振興会特別研究員  
15年 国立保健医療科学院水道工学部研究員  
22年 同水道工学部主任研究官  
23年 同生活環境研究部水管理研究分野主任研究官  
博士 (工学)



Katsunori Suzuki  
平成9年 東北大学理学部卒業  
11年 同大学院理学研究科修士課程修了  
同年 東京都入都  
現在 東京都水道局水質センター

図1 水安全計画品質保証ツールの評価入力セクションの表の例<sup>11)</sup>

\* Evaluation and Improvement of Water Safety Plan Using Water Safety Plan Quality Assurance Tool

表1 水安全計画品質保証ツールの評価入力セクションの表題と質問数

番号	表題	質問数		
		スコア型	スコア型以外	合計
1	水道事業者に関する一般情報	0	11(13)	11(13)
2	水道システムに関する一般情報	0	8(12)	8(12)
3	水安全計画チーム	5	0	5
4	水道システムの記述	2	0	2
5	危害の抽出とリスク評価	7(25)	3(12)	10(37)
6	管理措置と妥当性の確認	5(17)	3	8(20)
7	改善計画	3(12)	2(8)	5(20)
8	運転監視	4(16)	7	11(23)
9	検証	8	7(25)	15(33)
10	管理手順	3(9)	0	3(9)
11	支援プログラム	2	0	2
12	水安全計画のレビュー	5(14)	0	5(14)
合計		44(110)	41(80)	85(190)

括弧内の質問数は、同様の内容の質問を水道システムの各要素（水源流域、浄水処理、配水、給水末端）等について回答する場合、それぞれ別の質問として数えた数値

表2 水安全計画品質保証ツールにおける質問例

質問形式	質問例
スコア型	<ul style="list-style-type: none"> <li>水安全計画チームを特定し、結成しているか</li> <li>水道システムは、水源流域から消費者まで記述されているか</li> <li>水安全計画を、定期的にレビューし、必要に応じて改訂しているか</li> </ul>
スコア型以外	<ul style="list-style-type: none"> <li>給水人口</li> <li>過去一年内の配水システム内での漏水率 (%)</li> <li>抽出した危害原因事象の数</li> </ul>

なる（各要素等についての回答を別とした場合は190）。また、質問には、質問内容を補足したり、水安全計画のステップを説明するガイダンスと、水安全計画マニュアルでの該当箇所を示した参考文献がポップアップメモとして付いている。

質問の形式は、スコア型とそれ以外の2種類がある（表1）。それぞれの質問例を表2に示す。スコア型の質問では、水安全計画アプローチの各ステップについて、0～4までの5段階のスコアで回答を行う。スコア0はステップをまだ開始していない場合に、スコア4はステップが完了し、文書化され、整備されている場合に与えられる。スコア化することで、ステップの進捗状況が理解しやすくなる。一方、スコア型以外の質問には、給水人口や漏水率等、具体的な数値を記入する量的質問がある（表2）。これらは、水安全計画の運用状況を評価するのに役立つ、水安全計画の規模や複雑さを理解するための情報にもなる。また、量的質問だけでなく、水安全計画の策定や運用によって得られた効果、水道システムの各要素に対する責任の有無等の質問もある。スコア型、スコア型以外のいずれの形式の質問も、水道事業者の実情に合わせて、新規の質問を追加することができる（図1）。時系列評価や複数の水道システムを比較して評価するために、新規の評価を追加することもできる。また、コメント欄には、回答の補足説明等を記入することができる。

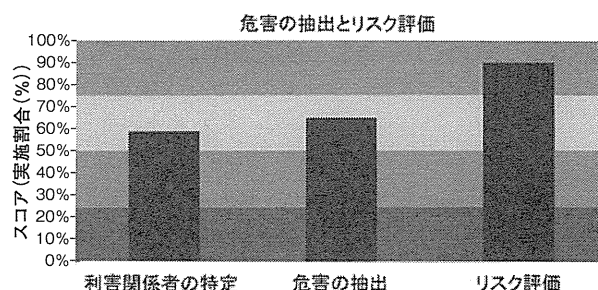


図2 水安全計画品質保証ツールの評価結果の図の例<sup>11)</sup>

各質問への回答結果は、評価結果の図表において自動的に整理される。この中で、スコア型の質問は、水安全計画のステップ（水安全計画の全般的な進捗、危害の抽出とリスク評価、検証）と水道システムの要素（水源流域、浄水処理、配水、給水末端）の観点から分類され、実施割合（スコア合計／総得点）(%)の形で表示される。とくに、図示化することで、水安全計画の策定や運用において、どの箇所が進展しているか、改善が必要かが視覚的に表されるため、容易に理解することができる（図2<sup>11)</sup>）。この評価結果の図は、ツールの特徴の一つとなっている。

## 2.2 水安全計画策定ガイドラインとの比較

水安全計画品質保証ツールは、水安全計画マニュアル<sup>2)</sup>に沿って作成されている。したがって、その質問は、マニュアルのいずれかの箇所で記載されている。一方、

水安全計画は、WHO 飲料水水質ガイドラインで提唱されたものであるため、厚生労働省による水安全計画策定ガイドライン<sup>3)</sup>の内容は、水安全計画マニュアルの内容とほぼ同様ではあるが、国内の水道事業を想定して策定されている。このため、水安全計画品質保証ツールの質問の中には、水安全計画策定ガイドラインには記載されていない質問、国内の水道事業者はすでに実施しているが、水安全計画策定ガイドライン（あるいは水安全計画）には必ずしも含まれていない質問もあった。

具体的には、水安全計画策定ガイドラインでは、水安全計画のステップ（水安全計画チームの結成、危害の抽出、リスク評価等）の中に、利害関係者に関する項目は記載されていなかった。一方、水安全計画マニュアルでは、水安全計画の各ステップを実施し、また、利害関係者に飲料水の安全性に対する責任を認識してもらう上で、水道システムの各要素での利害関係者の特定と利害関係者への接触の必要性について記述している。このため、水安全計画品質保証ツールでも、これらは質問に挙げられている。これら質問が水安全計画策定ガイドラインでの記載がなかった理由として、国内の水道事業者は、地方自治体やそれに準ずる団体であるため、必ずしも利害関係者を特定したり、接触しなくても、必要な情報は入手可能な場合があること、また、一般的な公開情報も比較的豊富であることが推測された。ただし、実際には、用水供給事業者と末端給水事業者の関係や委託業者等、国内水道でも、一部の利害関係者とのやり取りは行われている。しかし、水源で排水を放流している事業者等の特定、接触は、十分には行われていないかもしれない。

それ以外で、水安全計画策定ガイドラインに記載されていない質問として、水質検査に係わる採取計画とその実施に関する質問、試験室の技術やデータの信頼性に関する質問、消費者からの苦情に関する質問が挙げられた。水質検査については、国内水道の場合、水質検査計画<sup>12)</sup>として別のプログラムで運用されており、支援プログラムに位置付けられると考えられた。また、残りの2つも、実際には行われている内容であり（実施内容が質問に沿った内容かは別であるが）、どこまで水安全計画の範囲とするかの違いであると考えられた。

一方、水安全計画策定ガイドラインにも、水安全計画マニュアルには記載されていない、独自の内容が記載されていた。例えば、監視方法はできるだけ常時監視可能なものとする（とくにリスクが高い場合）、管理手順の要点を取りまとめた運転管理マニュアルを作成する等が挙げられた。

### 3. 水安全計画品質保証ツールのパイロット試験

2009年末～2010年初めにかけて、水安全計画品質保証ツールのドラフト版を用いて、11ヶ国13水道事業者と1規制当局を対象に、パイロット試験が実施された（イギリス、インド、ウガンダ、オーストラリア、オマーン、シンガポール、中国、日本、ニュージーランド、ポルトガル、南アフリカ<sup>8)</sup>）。目的は、ツールを使用した結果をフィードバックし、その改良に反映させるためである。日本からは、東京都水道局が参加した。

WHOの担当者によると、パイロット試験の参加者からの全般的なコメントは、水安全計画品質保証ツールは、

水安全計画アプローチを開始し始めた場合からすでに運用している場合まで、水安全計画の進捗状況を評価するのに役立つとの評価であった。しかし、評価の完了に時間がかかった、繰り返しの質問があったとのコメントがあった。また、ユーザーインターフェースに係わるコメントも複数寄せられた。これらを踏まえて、ツールの公表版<sup>9,10)</sup>では、表の構成を変え、繰り返しをなくし、簡素化し、より使い勝手がよくなるように改良が行われた。

東京都水道局では、2007年4月から水安全計画の運用を実施している。パイロット試験は、2010年1～2月にかけて、4人（リーダー、サブリーダー、書記（原案作成）、翻訳）で行われた。原案作成と内容確認に3週間、その後の翻訳に1週間費やされた。

スコア型の質問は、ほぼすべての項目でスコア4であり、東京都水道局の水安全計画は、水安全計画マニュアルが想定した内容を満たした形で策定、運用していることがわかった。この中で、水安全計画のレビューは、東京都水道局では、水安全計画、ISO 9001、ISO/IEC 17025が一体となった「TOKYO 高品質プログラム」<sup>5)</sup>を管理、運用するために局内に設置した、プロジェクトチームとワーキンググループが定期的実施していた。一方、スコア4以外の質問は、消費者からの苦情、利害関係者との接触（水源流域、浄水処理、配水、給水末端）、危害の抽出における現場調査（水源流域）、外部監査に関する質問であった。2.2でも述べたが、これらは、水安全計画策定ガイドラインに（具体的に）記載されていない質問であった。このため、実施していても質問内容に沿った形ではなかった（消費者からの苦情）、国内では、国や都道府県等の統計データが充実している（利害関係者との接触）ことが、スコア4でなかった理由であった。外部監査については、水安全計画策定ガイドラインでは、具体的な仕組みは述べられていない。このため、外部監査を取り入れるには、国内で統一的、あるいは水道事業者が独自に、外部監査に相当する仕組みを考えていくことになるかもしれない。大阪市水道局では、ISO 22000を取得し、その中で実施していると報告されている<sup>6)</sup>。

水安全計画の策定と運用による効果に関する質問では、選択肢に挙がっていた、利害関係者との関係の改善、水道についてのリスクの理解の改善、飲料水水質の改善、事故数の低下のいずれも「はい」との回答であった。加えて、それ以外の効果として、お客さまの信頼性の向上（安全性に関する説明責任）、水質管理技術のさらなる向上、技術継承等を挙げていた。

表3に、東京都水道局によるパイロット試験を通じた、ツールに対するアンケートの抜粋を示す。上述した、全般的なコメントと同様、東京都水道局の場合も、ツールを利用した感想は、概ね良好で、利用可能なものであるが、重複した質問等が多かったとの評価であった。また、水安全計画策定ガイドラインに記載されていない質問に対する取扱いへのコメントがあった。

ウガンダでは、国営上下水道公社がパイロット試験に参加した<sup>11)</sup>。参加メンバーは、ツールについて最初は十分には理解できていなかったが、パイロット試験の終了までに、ツールや体系的な水安全計画の策定プロセスを正しく理解できた、とコメントした。東京都水道局の場合と同様、ガイダンスの有用性についても報告した。

表3 東京都水道局によるパイロット試験後のアンケートの質問と回答(抜粋)

質問	回答
ツールの使い勝手	<ul style="list-style-type: none"> <li>・参考資料がリンクされているのが使いやすかった。</li> <li>・プルダウンによるリスト選択なので、誤入力が少なかった。</li> <li>・一部の質問は、水安全計画策定ガイドラインに記載がなく、評価しにくかった(消費者からの苦情等)。</li> <li>・重複した質問等が多かった。</li> </ul>
ガイダンスについて	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役に立った。</li> <li>・質問だけでは理解できない部分、特に4段階の評価については、評価基準が明確でなく、ガイダンスがないと評価困難であった。</li> </ul>
ツールの有用性について	<ul style="list-style-type: none"> <li>・役立つと考えられる。</li> <li>・既に水安全計画の運用を開始しているので、定期的なレビューの際に利用可能。</li> <li>・一部の質問項目は、2回目以降、省略可になると便利。</li> <li>・スコアによる評価は理解しやすいが、評価結果で得点に対する総合評価があると良いと考えられた。</li> </ul>

#### 4. おわりに

厚生労働省健康局水道課は、2011年度頃までに、水安全計画の策定を推奨している<sup>4)</sup>。一方、水安全計画策定後は、その運用を通じて、水道システムの統合的管理を行い、安全な飲料水の供給につなげること、あるいは供給していることを保証することが重要となる。

本稿で紹介した水安全計画品質保証ツールは、水安全計画を評価し、その改善や運用を支援する手段の一つとして利用できればと考えられる。当初、ツールの使用言語は英語のみであったが、改良版では、英語以外に、日本語を含む5ヶ国語での使用が可能となる予定である。また、国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究分野のウェブサイトでは、ユーザーマニュアルの日本語版の公表を予定している。

#### 謝辞

本原稿の作成にあたり、WHOのJennifer de France氏、Bruce Gordon氏に、貴重な情報の提供をいただいた。水安全計画品質保証ツールのパイロット試験の実施において、東京都水道局の保坂幸尚氏、篠田豊氏、池田麻衣子氏にご協力いただいた。記して謝意を表する。

#### 参考文献

1) 国包章一, 遠藤卓郎, 西村哲治監訳(2008) WHO飲料水水質

ガイドライン(第3版)第1巻, pp.47-82, 社団法人日本水道協会, 東京.

- 2) Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. and Stevens, M. (2009) Water Safety Plan Manual: Step-by-step Risk Management for Drinking-water Suppliers, 101pp., WHO Press, Geneva.
- 3) 厚生労働省健康局水道課(2008)水安全計画策定ガイドライン.
- 4) 厚生労働省健康局水道課(2008)「水安全計画策定ガイドライン」の送付について(平成20年5月30日健水発第0530001号).
- 5) 東京都水道局, TOKYO高度品質プログラム(東京都版水安全計画), <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp/press/h19/press080328.html> (2011年6月時点).
- 6) 大阪市水道局, 大阪市水道局ISO22000水安全マネジメントシステム(大阪市水道・水安全マニュアル概要版), [http://www.city.osaka.lg.jp/contents/wdu030/oishii/secret/iso/pdf/iso22000\\_01.pdf](http://www.city.osaka.lg.jp/contents/wdu030/oishii/secret/iso/pdf/iso22000_01.pdf) (2011年6月時点).
- 7) 江崎智昭, 小田琢也, 熊木芳宏, 藤田誉生, 橋上重弘, 伊藤裕之(2011)神戸市水道局水安全計画の策定と運用, 水道協会雑誌, 80(4), 17-23.
- 8) De France, J. (2010) Assessing water safety plans. A new international tool, *Water Safety Conference 2010*.
- 9) WHO, Water Safety Plan Quality Assurance Tool, [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/wsp\\_qa\\_tool/en/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/wsp_qa_tool/en/index.html) (2011年6月時点).
- 10) IWA, Water Safety Plan Quality Assurance Tool, [http://www.wspportal.org/templates/ld\\_templates/layout\\_1367.aspx?ObjectId=20686&lang=eng](http://www.wspportal.org/templates/ld_templates/layout_1367.aspx?ObjectId=20686&lang=eng) (2011年6月時点).
- 11) WHO and IWA (2011) User Manual Water Safety Plan Quality Assurance Tool, 28pp., WHO Press, Geneva.
- 12) 厚生労働省(2003)水道法施行規則の一部を改正する省令(平成15年9月29日厚生労働省令第142号).

## 27

## ダム貯水池における水質の長期変動の解析

Long-term trend of water quality in dam reservoirs

福岡女子大学 柳橋泰生

Fukuoka Women's Univ. Yasuo YANAGIBASHI

## 1. はじめに

気候変動による貯水池の水質への影響としては、水温の上昇による藍藻類の増殖、降雨パターンの変化による濁度の上昇等が考えられる。全国のダム貯水池の水質について長期的傾向を把握するため、国土交通省および水資源機構が管理するダム貯水池を対象に表層水温の解析を行った。また、気候変動による降雨パターンの変化によるダム貯水池の濁水長期化の発生頻度等への影響を把握するため、近年において濁水長期化が発生した水資源機構のダム貯水池について、降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係を解析した。

## 2. 研究の方法

## 2.1 全国のダム貯水池の定期水質調査結果の解析

ダム諸量データベース<sup>1)</sup>のデータを用いて、平成5年から20年までのダム貯水池の表層水温の長期的な変化を線形近似により解析した。ダム貯水池では、ダム管理の目的から月1回、水温や水質が測定されている。長期的変動をみるため、ある年で欠測月がある場合は、他の年の同じ月のデータは削除して解析した。ある年で欠測が多い場合は、その年のデータを全て削除した上で解析した。測定時刻に16年間で平均して2時間以上違いがある場合、または、各月の測定日が16年間で平均して15日以上違う場合は、そのダム貯水池のデータは解析対象から除外した。

## 2.2 降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係の解析

水資源機構では、管理するダム貯水池の水質データを平成15年分から水質年報<sup>2)</sup>として公表している。また、それ以前の記録があるダム貯水池もある。水質年報には、濁水長期化現象について濁水発生日、収束日、推定される原因等が掲載されている。なお、濁水とは、ダム貯水池からの放流水が濁った場合を指す。水質年報等に濁水長期化の記録がある全てのダム貯水池について、濁水長期化現象が発生した際の出水データおよび降水データを整理した。出水データはダム諸量データベースの流入量のデータ、降水量は当該ダムに最も近い気象観測所の降水量のデータ<sup>3)</sup>を用いた。台風等における出水量の増加開始時から濁水発生までの流入水量をT、出水時において最も流量が多い日の流入水量をPとし、濁水発生時の貯水位から貯水池水位-容量曲線図<sup>2)</sup>を用いて算出した貯水容量をVとし、ダム貯水池容量に対する流入水量の割合である $T/V$ および $P/V$ を算出し、解析を行った。

濁水発生の閾値となる出水量、降水量を推計するため、濁水長期化現象の発生頻度が高い3つのダム貯水池について、近傍の気象観測所の降雨記録が一定値以上の場合の一連の降水の総量、降水量が最大となった日の降水量、当該降水に対応する出水の総量、最も流量が多い日の流入水量のデータを整理し、濁水発生との関係をみた。

## 3. 結果及び考察

## 3.1 全国のダム貯水池の定期水質調査結果の解析

ダム諸量データベースのデータを用いて、平成5年から20年までのダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した。長期的な傾向を把握することを目的としたため、平成5年からのデータが掲載されているダム貯水池から2.1に示した条件を満たさないものを除外し、27のダム貯水池について解析を行った。表1お

よび図1に各ダム貯水池の16年間の表層水温の変化を示した。16年間で水温が平均1℃以上上昇したダム貯水池は、19カ所と7割を超え、3℃以上変化したダム貯水池も2カ所あった。緯度の高低による特徴はみられなかった。

表1 ダム貯水池の表層水温の長期的な変化 (平成5年～20年)

都道府県	ダム名	16年間の変化 (℃)	都道府県	ダム名	16年間の変化 (℃)
北海道	桂沢ダム	3.01	長野県	小渋ダム	1.80
岩手県	御所ダム	1.06	岐阜県	丸山ダム	1.21
岩手県	四十四田ダム	0.67	愛知県	矢作ダム	3.38
岩手県	田瀬ダム	0.88	京都府	天ヶ瀬ダム	1.88
岩手県	湯田ダム	-0.79	京都府	高山ダム	-0.50
岩手県	石淵ダム	2.07	奈良県	室生ダム	1.59
秋田県	玉川ダム	1.19	鳥取県	菅沢ダム	2.00
宮城県	鳴子ダム	1.19	高知県	早明浦ダム	1.71
宮城県	七ヶ宿ダム	1.56	愛媛県	野村ダム	1.36
群馬県	奈良俣ダム	-1.63	大分県	松原ダム	0.35
群馬県	矢木沢ダム	0.40	大分県	下釜ダム	1.71
群馬県	藤原ダム	1.04	佐賀県	巖木ダム	2.13
群馬県	相俣ダム	1.13	鹿児島県	鶴田ダム	1.73
長野県	美和ダム	0.38			

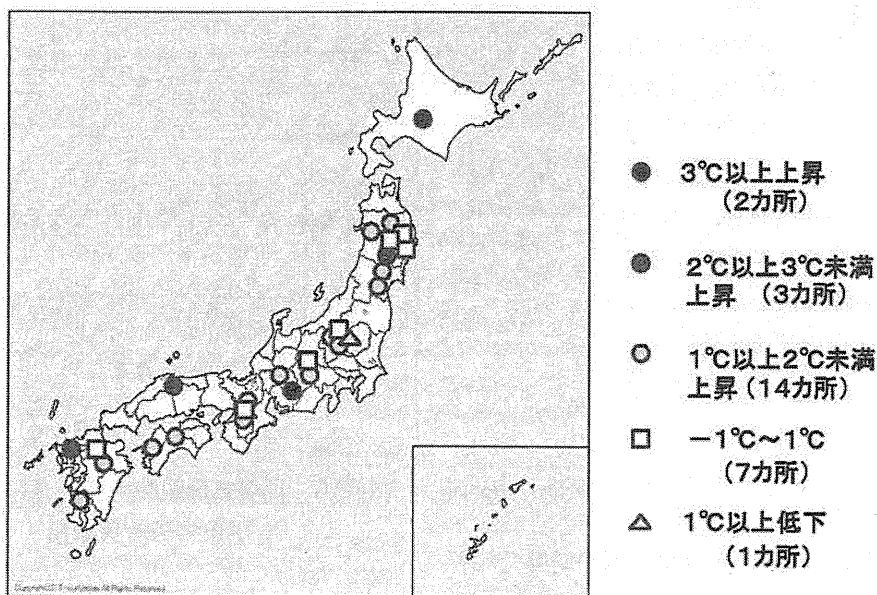


図1 ダム貯水池の表層水温の長期的な変化 (平成5年～20年)



### 3.2 降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係の解析

水資源機構のダム貯水池では、平成9年以降、放流水の濁水長期化の記録が8つのダム貯水池で計26回あった。そのうち、濁水長期化が発生した原因が台風による大量の降雨と考えられたものが14回、その他の降雨と考えられたものが8回、水位低下による濁水濁水と考えられたものが4回であった。台風およびその他の降雨により濁水長期化が発生した場合について、ダム貯水池容量に対する流入水量の割合である $T/V$ および $P/V$ を算出したところ、 $T/V$ の最小値は6%、中央値は29%、平均値は80%、最大値は607%、 $P/V$ の最小値は4%、中央値は13%、平均値は65%、最大値は587%であり、濁水長期化のイベントごとに大きな差異があった。

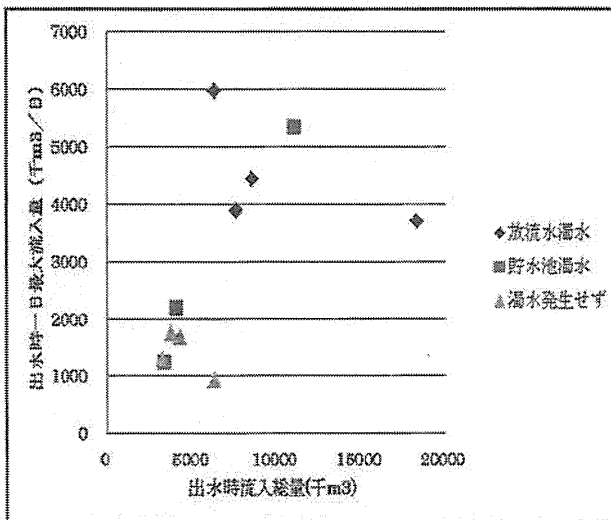


図2 出水時流入総量と出水時一日最大流入量

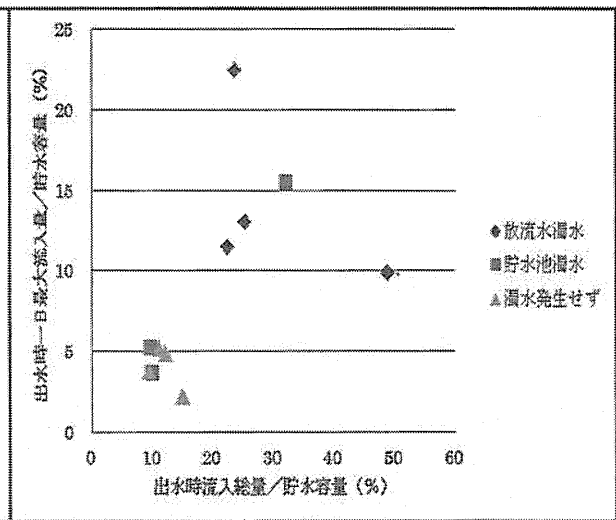


図3 出水時流入総量 (T) / 貯水容量 (V) と出水時一日最大流入量 / 貯水容量

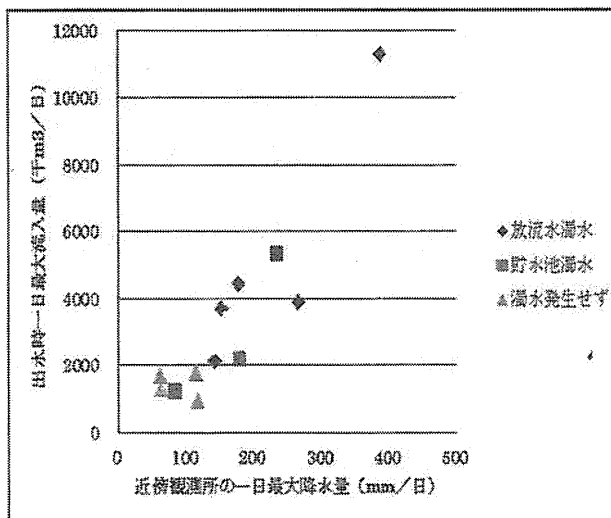


図4 近傍気象観測所の一最大降水量と出水時一日最大流入量

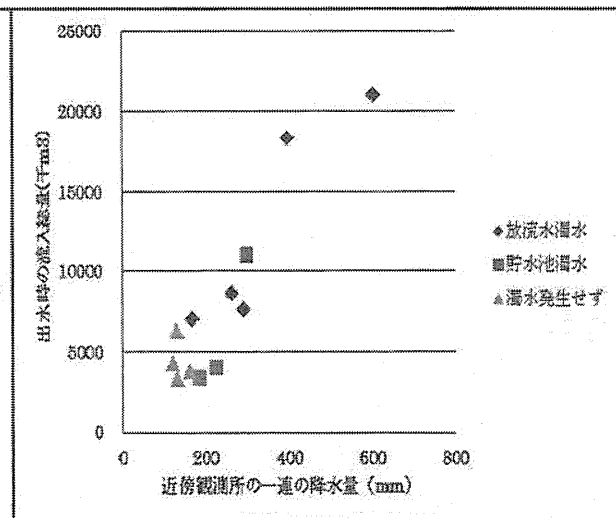


図5 近傍気象観測所の一連の降水量と出水時の流入総量

ダム貯水池の特性や選択取水設備の機能等により濁水発生メカニズムが異なることが考えられたため、濁水長期化現象の発生頻度が高い3つのダム貯水池について出水による濁水発生に関して個別に詳しく解析した。濁水の発生メカニズムとしては、出水時の濁水の流入により、まず貯水池が濁り、それが大規模で全

層に及ぶような場合は、放流水の選択取水設備が設置されているときでも、放流水が濁るということが考えられる。ダム諸量データベースに掲載されている濁度データにより、放流水が濁っていないが貯水池が濁っている場合を貯水池濁水と定義して解析対象とした。近傍の気象観測所の降雨記録が一定値以上の場合の一連の降水の総量、降水量が最大となった日の降水量、当該降水に対応する出水の総量、最も流量が多い日の流入水量のデータを整理し、放流水濁水および貯水池濁水の発生との関係を見た。

図2は、3つのダム貯水池の中のあるダム貯水池の出水時の流入水量と濁水発生の関係を示したものである。横軸が一連の出水時の流入水の総量、縦軸がピーク日の流入量である。図3は、他のダム貯水池との比較を可能にするため、貯水池容量で除し標準化を行ったものである。放流水濁水が発生した場合と濁水が発生しなかった場合では差異があるのが認められ、 $T/V$ が20%、 $P/V$ が7%程度のところに閾値があると考えられ、濁水発生の目安となる出水量を設定する根拠が得られた。また、図4および図5は、近傍の気象観測所における降水量を横軸、出水時の流入水量を縦軸においたもので、ほぼ線形の関係がみられた。

以上のことから、ダム貯水池ごとに、降水強度がどの程度になれば放流水濁水が発生するかを予測することは可能と考えられた。他の2つのダム貯水池についてもおおむね同様の関係がみられた。

#### 4. 結論

気候変動による水源水質の変化として注目されるものとして、水温の上昇による藍藻類の増殖、降雨パターンが変化することに伴う濁度の上昇等がある。これまでに大量に蓄積されているダム貯水池のデータを用いて、表層水温および濁水長期化について解析した。

- (1) ダム諸量データベースのデータを用いて、平成5年から20年までのデータがある（欠測年がある場合もある。）全国27のダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した。この結果、16年間で水温が平均 $1^{\circ}\text{C}$ 以上上昇したダム貯水池は、19カ所と7割を超え、 $3^{\circ}\text{C}$ 以上変化したダム貯水池も2カ所あった。
- (2) 濁水について、強雨強度、出水時の流入水量、濁水長期化の発生の関係を、これまでに濁水長期化の発生の記録がある水資源機構管理のダム貯水池でとられたデータをもとに解析した。この結果、出水量と放流水の濁水発生の有無には一定の関係があり、大きな出水の場合に放流水濁水が発生することが認められ、濁水が発生する目安となる出水量を推定することができた。また、近傍の気象観測所における降水量と出水時の流入水量は、ほぼ線形の関係がみられた。このことから、降水強度から放流水濁水の発生を予測することが可能と考えられた。今後は、気候変動による降水パターンの変化のデータとあわせ、濁水発生の将来予測を行い、濁水発生時の水道施設（浄水場等）での適応策を取る際の基礎資料とする予定である。

**謝辞** 本研究は、厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）「気候変動に対応した飲料水管理手法の開発に関する研究」の一環として実施したものである。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：ダム諸量データベース、<http://www2.river.go.jp/dam/>
- 2) 水資源機構：水質年報、平成15年～平成21年
- 3) 気象庁：過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

**キーワード**：ダム貯水池、気候変動、水温、濁度、降雨

**Key Words** : Dam Reservoir, Climate Change, Water Temperature, Turbidity, Rainfall

