

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）  
総括研究報告書

水道における連続監視の最適化および浄水プロセスでの処理性能評価に関する研究

研究代表者 小坂浩司 国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域主任研究官

研究要旨

表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している 21 事業体 21 浄水場の策定済み水安全計画を用いて、リスク管理方法の解析を行った。各危害原因事象とそれに対応する危害因子の組み合わせについて、異常の検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法の解析を行った。また、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUV と塩素処理を組み合わせている 6 事業体 12 浄水場の策定済み水安全計画について、平常時の運転管理に関連した優先度の高い危害因子を抽出した。これら、優先度の高い危害因子に対する監視方法、管理基準、その逸脱時の対応を解析し、さらに管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例を作成した。全国の水道事業体を対象とした生物・微生物検査および監視に関するアンケート調査を実施したところ、障害生物以外の独自項目（病原微生物、指標微生物、異臭味指標物質）の検査を実施しているのは大規模事業体のみであった。障害生物については、大規模事業体ほど検査対象とする割合が高まり、アナバ属やシネドラ属等が主な検査対象となっていた。東京都水道局ではPRTR 情報等を活用し、水源流域における水質事故発生のおそれの高い地点の把握を行った。化学物質を取り扱っている事業所数や化学物質の排出量、過去の事故発生数等について GIS ソフトを用いてリスクの高い地点を抽出した。顕在化している水質事故の多い区域として、利根中流域や江戸川下流が抽出され、事業所が多く存在し、潜在的に事故のリスクの高い地点として、多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸が抽出された。ガスクロマトグラフ自動連続監視装置（VOC 計）による原水中油類の検知について検討した。油流出事故時のクロマトグラムを分析したところ、VOC 計による監視対象成分としては密度が高く、疎水性が低く、沸点が高い成分が望ましいと考えられた。VOC 計を用いた油類検知の確立により、淀川流域において発生ポテンシャルの高い VOC と事故発生件数の最も多い油類を同時に監視することが可能となり、水質汚染事故監視体制の更なる強化が期待できる。全国約 330 の水道事業体を対象に、連続自動水質計器（水質計器）の設置、活用状況について調査を行った。4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上で、1 種以上の水質計器を設置していた。処理方式によって違いあるものの、全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは 1 ヶ月以内、委託メンテナンスは 1 年以内の割合が共通して高い傾向にあった。処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。新たに開発された水質計器について調査を行い、その情報を設置箇所ごとに整理した。全国 20 箇所の事業体の連続監視データのうち、原水の濁度・pH・電気伝導度・水温、沈殿水とろ過水の濁度、浄水の残留塩素について、水質計器のデータによる解析を行った。原水については、3 項目の 8 指標について解析を行い、それを基に 6 つの項目で主成分分析を行ったところ、累計寄与率は 3 項目で約 76%であった。今回解析した濁度・pH・電気伝導度は、多くの事業体で比較的入手可能な連続データであり、これらの変動の解析が、原水の水質全体の指標となる可能性が考えられた。ろ過水濁度 0.03 度以上となったデータは、原水濁度 10 度未満の場合に多く、原水低濁度時においても濁度管理が課題であることが分かった。浄水の残留塩素については、事業体ごとに設定値の管

理の違いがあるが、フィードバック制御における短い周期では着実に制御されており、残留塩素の中央値が大きい事業体ほどフィードバック制御のばらつきも大きい傾向が確認された。浄水場のオゾン接触槽/反応槽に、既設の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、溶存オゾン濃度の連続測定を行った。得られたデータを用いて、オゾンCt値を評価指標とするオゾン処理性能評価のための推定手法の構築を行った。オゾンCt値の推定値は、温度が高い時期ほどCt値は高く、温度が低い時期ほどCt値が低かった。実測値から得られるCt値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。本研究では、『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について』の知見の理解を深めるために、周辺状況の整理を行った。また、海外の事例を元に、海外の公報の取り決め、水質事故時のフローチャートについて示した。

#### 研究分担者

秋葉道宏 国立保健医療科学院  
統括研究官  
浅見真理 国立保健医療科学院  
生活環境研究部水管理研究領域  
上席主任研究官  
大野浩一 国立保健医療科学院  
生活環境研究部水管理研究領域  
上席主任研究官  
水野忠雄 京都大学大学院工学研究科  
講師

報等を総合的に解析し、中小水道事業体にも適用可能な知見を提供する。監視では、連続性が重視されるため、連続自動水質計器（以下、水質計器）の連続データを解析し、既存の水質計器に加え、新たな水質計器の設置によりデータを取得し、監視手法を検討する。また、突発的水質事故時には、処理は不十分ではあるが、断水による生活用水不足への影響も考慮すると、摂取制限等をとまって給水継続を行う場合も想定され、その対応策を提示する。

#### A. 研究目的

我が国では、安全な水道水の供給はほぼ達成されているが、平成24年度に発生した利根川水系での水質事故のように、特に水道水源での危害が懸念される状況にある。しかし、水源から給水栓までの統合的リスク管理手法である水安全計画の策定率は、策定中も含め全国の水道事業者の約16%で、危害の把握は十分とは言えず、特に中小水道事業者では困難な状況にある。連続測定データの解析は海外では注目され、変動する原水の処理状況を監視し、水質事故・異常を検知するため、連続監視・制御の果たす役割は大きい。

本研究では、水道水源で優先度の高い危害を抽出し図示する方法を検討するとともに、監視体制の最適化を目指し、浄水プロセスでの処理状況の連続監視データを利用し、変動や処理性能の評価手法の最適化を行う。危害の場合、水安全計画や各統計情

#### B. 研究方法

1) 表流水を水源とする浄水場における水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

前年度までの研究でデータベース化した浄水場別水安全計画を基に、表流水を原水とし浄水処理方式として急速ろ過方式を実施している21事業体21浄水場の水安全計画を解析対象とした。前年度までの研究で選定した危害原因事象—主要因子の組み合わせについて、対応マニュアルから、検知方法、事実確認方法、各種対応を行う際の対応基準、具体的な対応内容を集計し、分析を行った。また、この解析結果をまとめて、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

2) 地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析  
原水が地下水で塩素消毒のみの浄水場、塩素消毒と紫外線照射（以下、UV）を組み合わせている浄水場のあわせて6事業体12

浄水場の水安全計画を解析した。対象とする危害因子は、全リスクレベル（1～5）を対象とした。

### 3) 水道事業体における生物・微生物の検査および監視の実態把握

2015年8～10月にかけて主要な浄水場が急速ろ過方式である全国224の水道事業体に対して、日本水道協会と共同で電子メールにてアンケート調査票を送付し、154箇所より有効回答を得た。病原微生物、障害生物に加えて、病原微生物の汚染指標となる微生物（指標微生物）、同様に汚染指標として使用される濁度、障害生物が関与する異臭味関連項目の計5つの項目について、独自検査項目の有無とその種類、検査結果の浄水場や給配水過程等の管理への利用状況について調査した。加えて、遺伝子検査法の導入状況、利用方法についても調査した。

### 4) 水源水質事故対応のためのGISの活用

東京都が保有する平成18年4月から平成28年11月まで約10年間の東京都の水源での水質事故発生情報1996件、平成22年度末時点の利根川、荒川、多摩川水系の当局水源におけるPRTR制度届出事業所3,686件、平成23年度の産業廃棄物処分業の登録を受けている事業者1,590件についてGISソフト（Esri ArcGIS ver.10.2.2）を用いてマッピングを行った。

平成22年度PRTR制度届出情報を用い、当局の水源として、利根川、江戸川、荒川及び多摩川の各水系について河川における化学物質毎のリスクマップを作成した。

### 5) 淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討

淀川水質協議会の構成事業体に聞き取りを行い、原水の臭気試験の事例を調査した。また、同協議会の資料や聞き取りにより、計器による油類の連続監視状況を調査した。以上の結果をもとに、平成15～25年度における油流出事故の発生地点とあわせ、淀川流域における油類監視体制を取りまとめた。

水道施設で油臭が確認された油流出事故のうち、平成26年9月の油流出事故時及び平成28年3月に発生した油臭事故時におけるVOC計のクロマトグラムを解析した。

### 6) 連続自動水質計器の設置、活用状況に関

### する調査

2015年8～10月、4つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式別に全国の水道事業体から調査対象を選定し、それぞれの水道事業体に対し、該当する処理方式の代表的な1浄水場における水質計器の設置、活用状況について、電子メールでアンケート調査を行った。全調査対象事業体数は331であった。

回答は、急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式でそれぞれ168、45、16、19の浄水場について得た。ただし、水道事業体によっては複数の浄水場の回答を行ったところがあったこと、依頼した処理方式と異なる処理方式の浄水場に対して回答された場合があったことから、この数は回収率とは異なる。

各水質計器の設置の有無、自己および委託メンテナンスの状況、活用状況、代替指標としての利用、そして一部の水質計器については測定原理についても質問した。また、設置している水質計器のうち、特に利用価値が高く、推奨できるもの、設置している（設置していた）水質計器のうち、利用において課題があると考えられるもの、このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるもの、水質計器のデータの活用度を高める方法について質問した。

### 7) 水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

日本国内の水質計製造メーカー各社に対して、比較的最近に製品化された水道向けの水質計器の仕様や適用例についてヒアリングを行った。なお、濁度（高感度濁度計を除く）、pH、色度などの一般水質計についての情報は比較的容易に得ることができるため、調査から除外した。

### 8) 水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

表流水を主な原水とする全国20浄水場を対象に、原水、凝集沈殿水（以下、沈殿水）、急速ろ過水（以下、ろ過水）、浄水の過去の水質計器の1時間毎のデータを入力し解析を行った（一部は原水のみ）。対象期

間は2014年4月1日1:00から2015年3月31日24:00までとした。入手したデータのうち、設置事業体数が多く解析に適している項目として、原水については濁度、pH、電気伝導度、水温を、沈殿水とろ過水においては濁度を、浄水においては残留塩素について変動に関する解析を行った。

#### 9) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

阪神水道企業団猪名川浄水場に、オゾン注入率制御のために設置されている既存の1箇所に加え、新たにオゾン接触槽直後3箇所に溶存オゾン濃度モニターを設置し、連続データの取得を行った。調査期間は、2016年1月18日～11月30日とした。

オゾン処理性能として評価する指標は、オゾンCt値とし、オゾンCt値算出のための推定パラメータ ( $k_a$ : オゾンガスの水中への総括物質移動容量係数、 $k_f$ : 第一接触槽におけるオゾンの速い分解を表す反応速度定数、 $k_s$ : オゾンの遅い分解を表す反応速度定数) を算出した。算出にあたり、処理水流量、供給オゾン流量、発生オゾン濃度、処理槽容積、排オゾン濃度、溶存オゾン濃度を用いた。

#### 10) 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～

関連の研究、水道事業体の検討事項等を中心に、研修、講演、業務等の機会を通じて情報収集を行った。また、国立保健医療科学院の水道工学研修の研修生の方々とも実際の現場を考慮した議論を重ね、日本における水質異常時の水道の対応について情報収集を行った。

### C. 研究結果およびD. 考察

#### 1) 表流水を水源とする浄水場における水安全計画を用いた代表的な危害対応方法の解析

危害発生箇所が水源、浄水プロセス、給水システムで、「危害原因事象/危害因子」の組み合わせについて、それぞれ6、1、2つ採り上げ、対応基準とその対応について整理した。

水源の場合、「降雨/原水濁度」、「降雨/

沈でん水濁度」、「車輛等事故・水上バイク/原水での油」、「(下水) 処理施設からの放流水/原水での耐塩素性病原生物」、「(下水) 処理施設からの放流水/ろ過水での耐塩素性病原生物」、「富栄養化/原水でのかび臭物質」を対象とした。このうち、集計マニュアル数が最も多かった「降雨/原水濁度」について見ると、対応基準には、原水濁度とろ過水濁度が設定され、原水濁度の対応基準値は、浄水場によって異なり、20～1500度まで幅があった。ろ過水濁度の対応基準値は0.05度と0.1度であった。対応基準値と超過時の対応の関係は、3つに分類された。①濁度上昇を検知では、対応方法は情報収集、原水監視、浄水処理適正化・強化、浄水処理状況の監視が主体となっていた。②原水濁度20～1000度、ろ過水濁度0.05度以上、では原水監視と浄水処理強化が主な対応となっていた。③原水濁度1500度超過、ろ過池濁度0.1度超過、処理困難では、取水停止・取水再開の対応が主体となっていた。

浄水プロセスの場合、「設定ミス等による塩素注入過不足/浄水での残留塩素」を対象とした。抽出された対応基準は23種類あったがすべて異なり重複することはなかった。対応基準と対応内容の関係をみると、次のように分類された。①設定値± $\alpha$ 型の基準値逸脱、では対応方法は、対応協議や残塩監視という簡単なものであった。②運用範囲逸脱(未満・超過)では、逸脱時の対応としては、塩素注入の適正化、水質監視、注入状況確認、貯蔵改善など塩素注入に関する対応に集中していた。③対応基準値未満では、残留塩素の適正化よりも圧倒的に取水停止の対応が多かった。

給配水システムの場合、「管劣化・腐食/送配水での濁度」、「クロスコネクション/給水での残留塩素」が対象となった。このうち、「クロスコネクション/給水での残留塩素」について見ると、対応基準としては、クロスコネクションが発見された場合と影響程度が大きくクロスコネクションが解消されない場合の2通りで、主な対応は給水停止、改善指導、洗浄、通水であった。

さらに、「危害原因事象/危害因子」の組

み合わせについて、異常検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法を対応マニュアルの形に落とし込み、管理基準逸脱時の標準的な対応マニュアル例を作成することを試みた。このとき、水源から「降雨／原水での濁度」を)、浄水プロセスから「設定ミス等による塩素注入過不足／浄水での残留塩素」を、給配水システムから「クロスコンネクション／給水での残留塩素」を採り上げた。

2) 地下水を水源とする中小水道事業体を対象とした水安全計画を用いた代表的な危害、監視方法、管理基準逸脱時対応方法の解析

代表的な危害原因事象／危害因子として、水源では、①ケーシング破損／濁度、②肥料流出／硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、③地質／マンガン、④畜舎排水の流出／耐塩素性病原微生物、の4つを抽出した。浄水プロセスでは、⑤薬品受け入れミス／残留塩素、⑥設定ミス、注入ポンプ等異常による次亜の注入不足、過剰注入／一般細菌、大腸菌、⑦貯留日数大／塩素酸の3つを抽出した。給配水システムでは、表流水の方の解析で行われている事象は選択せずに、⑧使用量不足による滞留時間大／残留塩素を抽出した。

これらの8つの組み合わせに対して監視方法、監視地点、管理基準を整理した。例えば、①水源の「ケーシング破損／濁度」の場合、「地下水」、「取水」での濁度監視・水質管理が主要であることが確認された。塩素消毒のみの処理では、濁度を除去できないため、浄水場に入る前に取水停止等の対応をとることを目的に管理しているためと考えられた。管理基準については、監視地点が「地下水」及び「取水」の場合、濁度を0.1度以下に設定している浄水場が多く、水質基準の2度以下よりも低く設定している傾向にあった。また、⑤浄水プロセスの「薬品受け入れミス／残留塩素」の場合、監視項目としては手分析（による残留塩素濃度の測定）、水質計器の残留塩素計が多く、主要な監視点は「浄水池等」であった。管理基準については、重要管理点である「浄水池等」の場合、残留塩素の管理基準値については、0.1～0.6mg/Lであった。

対応マニュアルについては、水源における濁度異常、浄水における残留塩素異常に

ついて作成した。前者の場合、事実確認方法は、計器異常の有無の確認、再検査、影響程度の判定、原因判断の4つに分類された。対応方法は、対応基準は異なるものの、取水停止が主要な対策であることが明らかとなった。

後者の場合、検知方法は、水質計器と水質検査の2つに、事実確認方法は、計器確認、注入設備確認、設備確認、現場確認、原因判断、影響程度の判断の6つに分類された。対応基準には浄水の残留塩素濃度が設定され、管理基準値は浄水場によって異なっていた。対応方法は、管理基準範囲を逸脱した場合または管理基準値を逸脱した場合と0.1mg/Lを下回った場合に分けて設定されていた。

3) 水道事業体における生物・微生物の検査および監視の実態把握

障害生物を除く水質項目について、独自に設定した項目の検査を実施していたのは約0.5%で、大規模事業体でのみであった。一方、障害生物については、多くの事業体（約53%）で検査が実施されていた。比較的小規模の事業体においても検査は実施されていたが、規模が大きくなるほど検査をしている事業体の割合は高まった。

障害生物以外の自主検査項目は、ノロウイルス等の病原微生物、腸球菌等の指標微生物、ヘプタジェナール等の異臭味関連項目であった。障害生物については、アナバネ属やフォルミジウム属等のジェオスミンや2-MIB（カビ臭原因物質）を産生する生物や、ろ過閉塞障害を引き起こすシネドラ属、凝集沈殿処理障害等を引き起こすマイクロキスティス属等が水道事業体で主に警戒され、検査対象となっていた。

病原微生物、指標微生物、濁度、障害生物、異臭味関連項目の5項目の中では、最も異臭味関連項目の検査結果が浄水場等の管理等へ利用されていることがわかった。その他の項目についても比較的多くの事業体で利用が行われていた。遺伝子検査法を導入している、導入を検討している、導入の見込みなし、と回答した事業体の割合は、それぞれ11%、6%、83%であり、あまり導入が進んでいないことがわかった。

#### 4) 水源水質事故対応のためのGISの活用

水源水質事故は、本川、支川だけでなく、本川、支川に流入する可能性がある用水路等広範な事故が水源水質事故情報として寄せられるため、関東一円に分散している。特に、利根川中流域の主に左岸側及び江戸川中～下流域で事故発生件数及び密度が高くなっていた。PRTR 制度届出事業所は、多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、埼玉県東南部、利根川中流域で数が多く、密度も高くなっている。水源水質事故ではないが、江戸川流域も事業所菅多い状況であった。産業廃棄物処分業の登録を受けている事業者は、利根川中流域の右岸に一部件数が多いところがあるが、左岸はそれほど多くはない。その他多摩川左岸及び荒川支川入間川右岸、江戸川流域の数が多くなっていた。

平成 22 年度 PRTR 制度届出情報を用い、利根川、江戸川、荒川及び多摩川の各水系について河川における化学物質毎のリスクマップを作成した。その結果、水源水質事故情報と PRTR 情報のマッピングにおいて、リスクの高い地域の分布については、利根川中流域など、おおむね同様の傾向を持つ地点もあった。一方で、水源水質事故については江戸川流域など極端に高い部分もあった。

今回は、河川区間毎のリスクの把握のために、今回は事業場から同一流域から最短距離の河川地点に流入すると仮定し検討した。しかし、実際には、実際の河川への放流口の位置は、地形などの制約等から必ずしも最短距離地点ではないこと、また、事業所ごとに、どの河川区間に流入するかを入力作業に労力がかかったことが課題として挙げられた。

#### 5) 淀川流域での危害発生地点と監視地点等の図示化による監視体制の検討

淀川流域における油流出事故の発生地点の総数は 213 箇所、淀川上流の桂川流域では 21 箇所、宇治川流域では 75 箇所、木津川流域では 67 箇所、これら三川の合流地点より下流側では 50 箇所であった。

定期検査における臭気検査の実施状況を見ると、淀川流域の水道事業体の 9 浄水場 10 取水系統において、一日 1 回以上の頻度で原水の臭気検査を実施していた。油の連

続監視体制を見ると、4 箇所油膜検知器が設置され、3 箇所に油分モニタを設置予定であった。油類検知可能性を検討する VOC 計については、4 箇所に設置されていた。

平成 26 年 9 月の油流出事故時の VOC 計によるクロマトグラムを解析した結果、VOC 計を用いることで、油臭が感じられる A 重油の流出を検知できる可能性が示された。ただし、VOC 計を用いた原水中油類検知のための監視対象 VOC としては、トリメチルベンゼンのように比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられた。平成 28 年 3 月の油臭事故時のクロマトグラムの結果からも、VOC 計を用いることで臭気が感じられる油流出事故を検知できる可能性が示された。

油類の連続監視方法として、油膜検知器、油分モニタ、VOC 計の特徴等を整理した。油膜検知器は、構造が簡単で維持管理性に優れているが、センサーの直下に油膜がないと検知できないというデメリットもある。油分モニタは油膜検知器に比べて構成する機器が多くコストも高いが、油膜にならない油分を検知できるというメリットがある。VOC 計も油分モニタと同様、付属機器やコストが課題となるが、水中に溶解した油分を検知可能で、かつ淀川流域において発生ポテンシャルが高いと推測される VOC の監視も可能であると考えられた。

#### 6) 連続自動水質計器の設置、活用状況に関する調査

急速ろ過方式では、31 種の水質計器が設置され、いずれかの設置箇所に 1 種以上の水質計器が設置されていた浄水場の割合（以下、設置率）は 99%であった。設置率が 50%以上であった水質計器は 8 種であった。自己メンテナンスの頻度は、1 週間以内、あるいは 1 ヶ月以内の割合が高かった。委託メンテナンスの頻度別は、1 年以内の割合が高かった。水質計器の設置箇所別の活用状況は、管理基準や指標値を設定している水質計器が多く、自動制御を行っている水質計器の数は、凝集沈殿水～浄水の残留塩素計、原水の濁度計が比較的多かった。消毒のみの場合、設置されていた水質計

器は 8 種で、設置率は 98%であった。自己メンテナンスの頻度は、生物センサー以外は、1 ヶ月以内という回答の割合が高く、委託メンテナンスの頻度は、生物センサー以外は、3 ヶ月以内、1 年以内という回答の割合が高かった。活用状況は、全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

緩速ろ過方式の場合、設置されていた水質計器は 13 種で、設置率は 100%であった。自己メンテナンスの頻度は、全体的には 1 ヶ月以内が高かった。委託メンテナンスの頻度は、全体的には 1 年以内、3 年以内、不定期の割合が高かった。活用状況は、全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

膜ろ過方式の場合、設置されていた水質計器は 17 種で、設置率は 100%であった。自己メンテナンスの頻度は、全体的には 1 週間以内と 1 ヶ月以内の割合が同程度であった。委託メンテナンスの頻度は、全体的には 1 年以内が高かった。水質計器の活用状況は全体的に見ると管理基準や指標値を設定している水質計器が多かった。

代替指標として利用していた水質計器は 13 種で、生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外吸光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。測定原理について見ると、生物センサーは、そのほとんどは魚類監視装置を設置していた。残留塩素計は、回答を得た全てのところでポーラログラフ法を採用していた（複数設置を含む）。無試薬型が多かった。高感度濁度計は、粒子数計測法が多かった。

設置している水質計器のうち、特に利用価値が高くお勧めのものについて調査したところ、17 種類の計器について回答が得られた。これまでに設置した水質計器のうち、利用において課題があると考えられるものについて調査したところ、16 種について回答が得られ、メンテナンスが難しい、部品交換頻度が高いなどの理由が多かった。このような機能を持った水質計器があると便利と考えられるものについては、水質計器

によらず共通の機能（メンテナンスフリー、自動採水機能を有するもの、簡易的な測定データの遠隔監視）と、21 種の水質計器についての回答が得られた。水質計器のデータの活用度を高める方法について意見を求めたところ、水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、測定データの利用に関するものが挙げられた。

7) 水道水質管理における連続自動水質計器の役割と開発状況

ヒアリングの結果、一般的な水質計を除いた連続自動水質計器は 56 機種あった。測定成分で分類すると 22 種となった。これら水質計器について、統一した様式で仕様を整理した。

8) 水道原水及び処理水の連続監視データの変動解析

原水の濁度、pH、電気伝導度について、そのトレンドから変動を解析する指標を採り上げ解析した。濁度の場合、突発性の視点から「ピーク数」を、年間変動の視点から「第 3 四分位－中央値」を指標とした。pH の場合、日内変動の視点から「1 日変動の中央値」を、日内変動のばらつきから「1 日変動の四分位範囲」を、年間変動の視点から「1 日最小値の四分位範囲」を指標とした。電気伝導度の場合、日内変動のばらつきから「1 日変動の四分位範囲」を、年間変動の視点から「相対四分位偏差」を指標とした。

これら 8 つの指標を用いて主成分分析を行ったところ、pH と電気伝導度に関する固有ベクトルのばらつきが少なく、濁度と電気伝導度も類似の固有ベクトルであった。pH の「1 日変動の四分位範囲」と電気伝導度の「中央値」を除き、6 つで再度主成分分析を行ったところ、累積寄与率は 3 項目で 75.97 %に達した。

この 6 つの指標を用いて、各事業体を対象にレーダーチャートを作成した。各事業体の濁度、pH、電気伝導度の変動特性や、限定的ではあるが原水安定性を視覚的に把握するためのグラフを作成できた。また、各事業体で各項目の値を求めることで、その浄水場がどのような変動を受けやすいか

把握し、同様の水系や水源を持つ事業体間での情報共有に有用であると考えられた。これらの項目は多くの事業体で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。

次に、濁度を採り上げ、複数の地点での連続データを解析した。原水濁度と沈殿水濁度の関係を見ると、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しており、特定の場合を除き原水高濁度時には各浄水場とも着実に対応していることがわかった。また、沈殿水濁度が高いのは、見かけ上、原水低濁度時に偏在しているように見えたが、実際のデータ分布の比率では、必ずしも原水低濁度時に沈殿水濁度が高くなりやすいとは言えなかった。原水濁度とろ過水濁度の関係を見たところ、全国的に、原水濁度にはばらつきが見られたが、着実に処理を行うことでろ過水では濁度が安定していることが確認できた。しかしながら、ろ過水濁度が相対的に高くなるのは、原水低濁度時に多くなる傾向があり、共通の課題として原水低濁度時にも留意が必要な場合があるということがデータで示された。

浄水の残留塩素について、各事業体で比較した。年間の中央値は、事業体ごとでことなり残留塩素の管理の違いが確認できた。また、4時間変動の中央値はいずれも0.1 mg/L以下になっており、全国的にフィードバックにより着実に制御されていることが示された。残留塩素の年間の中央値が高い浄水場は、4時間変動の中央値も比較的高くなる傾向が見られ、次亜塩素酸ナトリウムの注入量が多い浄水場は、短時間における変動も大きくなりやすく、注入量が少ない浄水場に比べ、フィードバック制御のばらつきは安定しにくいと推察された。

#### 9) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

調査期間中、処理水流量は3030～6025 m<sup>3</sup>/hr、供給オゾン流量は557～657.5 m<sup>3</sup>/hrであった。オゾン注入率は0.63～3.32 mg/Lで、冬期に低く、夏期に高かった。

溶存オゾン濃度は、活性炭槽入口で通常は0.25 mg/Lに設定され、一定の期間、制

御値が0.20および0.30 mg/Lに設定されていた。第三接触槽後では、0.22～0.64 mg/Lの範囲で、夏季に活性炭槽入口の管理溶存オゾン濃度を低下させている期間について、その範囲は、0.35～0.56 mg/Lであり、管理値を低減しているにも関わらず、比較的高濃度であった。第二接触槽後では、0.08～0.32 mg/Lで、第三接触槽後の濃度に追随していた。第一接触槽後では、最大値は0.063 mg/Lで多くの日時で濃度は低かった。

推定パラメータを推定し、それを基にオゾン Ct 値を推定したところ、概ね3<sup>3</sup>~10 mg/L・min.程度の範囲であった。温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。これは、高水温期にオゾンの分解が速い一方、管理・制御はほぼ同じ値で活性炭前の溶存オゾン濃度を用いて行っているため、第三接触槽もしくは第三滞留槽での溶存オゾン濃度を高く保つためであると考えられた。

活性炭前溶存オゾン濃度とそのデータが得られた時の滞留時間とを用いて、積として計算したオゾン Ct 値と比較した。この値はオゾン処理槽内の溶存オゾン濃度分布がわからない場合には、適用しうる指標ではあるが、本研究で行ったように濃度分布を考慮した解析結果と比べて、低水温期は過大評価を、高水温期は過小評価している可能性があることが示された。

#### 10) 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～

水質事故が起こった場合を想定すると、少なくとも幾つかの場合分けがあると考えられる。一つには原水のみ異常の場合である。原水の異常はなるべく早く察知して、改善を図ることが望ましい。一方浄水処理過程に入ってしまった場合は、凝集強化や粉末活性炭の注入、塩素注入の強化など、取り得る手段は多くはない。事前の検討を行うことが必要である。

実際に水質事故が起こり、基準超過の可能性がある場合や判断に迷う場合は、通知にあるように「飲料水健康危機管理実施要領」に基づき厚生労働省に報告を行うことになる。それを踏まえ、厚生労働省、国立保健医療科学院、国立医薬品食品衛生研究

所等においても、できる限りのサポートを行うことが考えられる。

水源汚染の防止や、原水、工程水、給配水の各段階を含む危機管理マニュアルの策定、これらを総合する水安全計画の策定は非常に重要である。上流において用いられている化学物質を把握すること、水質監視体制の整備も重要である。加えて、より高感度な理化学的及び生物学的な監視等を行い、水質汚染の早期発見を確実にすることも今後の課題である。

実際に水質事故が起こった場合、問い合わせ対応には、多くの人員が必要となるため、素早くマニュアルを作成し、他部局の職員等でも回答できる体制を作ることが重要である。

## E. 結論

1) 表流水を原水とし、浄水処理方式として急速ろ過方式を採用している浄水場の策定済み水安全計画を用いて、異常の検知方法、異常の事実確認方法、対応基準と対応方法を解析した。また、管理基準逸脱時の標準対応マニュアル例の作成を試みた。

2) 地下水を原水とし、塩素処理のみ及びUVと塩素処理を組み合わせている浄水場の策定済み水安全計画について、解析を行い、優先度の高い危害因子を抽出し、その監視方法、管理基準、対方法について整理、解析を行った。

3) 障害生物以外の独自項目の検査を実施しているのは大規模事業者のみであった。障害生物については、大規模事業者ほど検査対象とされる割合が高まった。指標微生物、病原微生物、濁度、障害生物、異臭味関連項目の中では異臭味関連項目が最も浄水場等の管理に利用されていることがわかった。アンケート調査対象の事業者のうち約11%が遺伝子検査手法を既に導入しており、また導入しているのは大規模な事業者のみであった。

4) 東京都の水源水質事故情報と水質汚濁防止法に基づく届出特定排出事業場情報等のマッピングの結果、水源における過去の水源水質事故発生地点を採水地点とした定期的監視の代表地点の設定にもマッピング情報を踏

まえて合理的な検討が行えるようになった。

また、水質事故時の情報連絡においても各関係者が共通の認識で情報のやり取りが図れ、化学物質を取り扱う水源の事業者に対する注意喚起に関しても、活用できると考えられた。

5) 淀川流域では、9 浄水場 10 取水系統で一日 1 回以上の頻度で原水の臭気検査が実施され、4 箇所で油膜検知器と VOC 計が設置され、3 箇所で油分モニタが設置予定であった。VOC 計は原水中の油類検知可能性があるが、監視対象 VOC としては、比較的密度が高く、疎水性が低く、かつ沸点が高い成分が望ましいと考えられた。

6) 4 つ（急速ろ過方式、消毒のみ、緩速ろ過方式、膜ろ過方式）の処理方式によらず、本研究で対象とした浄水場の 98%以上（処理方式別の割合）で、1 種以上の水質計器を設置していた。消毒のみの場合を除き、濁度計、残留塩素計、pH 計は複数地点で設置している割合が高かった。全体的に見ると、メンテナンスを行っている場合、自己メンテナンスは 1 ヶ月以内、委託メンテナンスは 1 年以内の割合が共通して高い傾向にあった。処理方式によらず、水質計器の活用方法は、管理基準や指標値を設定している場合が多い傾向にあった。生物センサー、高感度濁度計、塩素要求量計、紫外部吸光光度計、電気伝導度計を代替指標として利用しているところが多かった。水質計器に対する要望としては、メンテナンスフリーであること、コストが低いことが共通していた。水質計器に関する活用度向上としては、水質計器の設置箇所、維持管理、機能に関するもの、測定データの活用に関するものがあつた。

7) 22 測定成分の 56 種の水質計器について、統一した様式で仕様を整理した。

8) 全国 20 事業者の連続監視データのうち、設置事業者数が多い原水濁度、pH、電気伝導度の連続監視データについて、水質変動の比較解析を行った。これらの項目は多くの事業者で入手可能な連続監視データであり、これらの変動の解析が原水水質全体の変動の代表となる可能性が考えられた。原

水、沈殿水、ろ過水での濁度の変動も比較解析を行ったところ、原水では浄水場毎に濁度のばらつきが見られたが、多くの浄水場において、着実に処理をすることでろ過水では濁度が安定していた。浄水の残留塩素については、フィードバックにより、残留塩素の短時間の変動は 0.1 以下に着実に制御されていたが、残留塩素が高い浄水場は短時間の変動も比較的大きくなる傾向が確認できた

9) 構築したオゾン処理性能評価のための推定手法により、溶存オゾン濃度の実測値と推定値を比較したところ、良好な再現が可能であった。オゾン処理性能としてのオゾン Ct 値を推定したところ、温度が高い時期ほど Ct 値は高く、温度が低い時期ほど Ct 値が低かった。実測値から得られる Ct 値と比べると若干高い値が得られたが、今後モデル設定の精度を上げることで改善は可能と考えられた。

10) 事故対策では、事故が起こらないようにすることが最も重要であるが、一方で、起こった後の被害を出来るだけ軽減することも重要である。中でも『水質異常時における摂取制限を伴う給水継続』は、あくまでもやむを得ない場合のリスク管理として、考えておかなければならない事項である。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

1) 浅見真理, 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続 ～不可避な場合のリスク管理～. 水道. 2016, 61 (5), 16-29. (査読無し)

### 2. 学会発表

1) 佐々木賢史, 小川将司, 大野浩一, 小坂浩司, 秋葉道宏. 水安全計画を用いた優先度の高い危害の監視手法解析. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 796-797.  
2) 北なつ海, 田中康夫, 橋本久志. VOC 計

を用いた原水中油類の連続監視に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集, 2016, 676-677.

3) 小池友佳子, 宮林勇一, 斎藤健太, 小坂浩司, 浅見真理, 佐々木万紀子, 佐藤三郎, 秋葉道宏. 全国の浄水場を対象とした連続自動水質計器の設置, 活用状況に関する調査. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 670-671.

4) 斎藤健太, 朝野正平, 宮林勇一, 小池友佳子, 浅見真理, 小坂浩司. 連続監視データの解析による原水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 672-673 .

5) 朝野正平, 斎藤健太, 宮林勇一, 小池友佳子, 浅見真理, 小坂浩司. 連続監視データの解析による浄水の水質管理に関する検討. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2016, 674-675 .

## 3. その他

1) 浅見真理. 将来の水道におけるリスク管理のあり方. 首都大学東京水道システム研究センター主催公開セミナー. 平成 28 年 10 月 22 日. 東京.

2) 浅見真理. 水道水質管理の現状と課題. 簡易水道協議会水道実務者研修. 平成 28 年 10 月 25 日. 東京

3) 浅見真理. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 北陸公衆衛生研究所環境講演会講師. 平成 28 年 11 月 11 日. 福井.

4) 浅見真理, 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 関係者による情報交換会. 平成 29 年 1 月 26 日. 東京.

5) 浅見真理. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 木曾川水系水質保全連絡協議会. 平成 29 年 2 月 1 日. 名古屋.

6) 浅見真理. 水道水質管理の現状と課題. 第 49 回水道実務指導者研究集会. 平成 29 年 2 月 23 日. 東京.

7) 大野浩一. 水質異常時における摂取制限を伴う給水継続の考え方について. 北千葉広域水道企業団水道関係研修会. 平成 29 年 2 月 23 日. 千葉.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

