

201429018A

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

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

平成26年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 小坂浩司
(国立保健医療科学院)

平成27(2015)年 3月

目次

研究班の構成	1
I. 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	5
小坂 浩司	
II. 分担研究報告書	
1. 水安全計画を用いた水道水源・浄水プロセス・給配水システムでの 危害と監視方法の解析	17
大野 浩一、小坂 浩司、岸田 直裕、秋葉 道宏	
2. 水質検査計画に見る水道事業体における水質検査・監視の実態	31
岸田 直裕、下ヶ橋雅樹、秋葉 道宏、大野 浩一	
3. 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	39
淵上 知弘、大谷 真巳	
4. 連続自動水質計器のデータ解析に関する予備的検討	47
浅見 真理	
5. イベント検知システムに関する調査	53
山口 太秀	
6. 三次元蛍光スペクトルを用いた浄水プロセスでの溶存有機物の特性解析	67
小坂 浩司、中井 喬彦	
7. 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発	75
水野 忠雄	
8. 突発的水質事故時の摂取制限等をともなう給水継続への対応	83
大野 浩一、浅見 真理	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	91
IV. 研究成果の刊行物・別刷	95

研 究 班 の 構 成

研究代表者

国立保健医療科学院生活環境研究部主任研究官 小坂浩司

研究分担者

国立保健医療科学院統括研究官 秋葉道宏

国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官 浅見真理

国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官 大野浩一

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻講師 水野忠雄

研究協力者

国立保健医療科学院国際協力研究部主任研究官 下ヶ橋雅樹

国立保健医療科学院生活環境研究部主任研究官 岸田直裕

公益社団法人日本水道協会工務部水質課水質専門官 宇田川富男

東京都水道局浄水部浄水課水質係係長（課長補佐） 金見拓

大阪市水道局工務部水質試験所担当係長（試験） 渕上知弘

阪神水道企業団技術部水質試験所主査 大谷真巳

（株）日水コン水道事業部東京水道部技術第五課課長 榊原康之

メタウォーター（株）事業戦略本部グループマネージャー 山口太秀

国立保健医療科学院生活環境研究部 中井喬彦

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

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

平成26年度 総括研究報告書

研究代表者 小坂浩司
(国立保健医療科学院)

平成27年3月

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

本研究は、水道水源での監視体制の最適化、浄水プロセスでの処理性能評価手法、水質変動・異常への対応手法を構築することを目的としている。全国 23 水道事業者 33 浄水場の水安全計画を入手し、水道システムを「水源」、「浄水プロセス」、「給配」の 3 要素に分類して解析を行い、優先度を高く設定している危害原因事象と危害関連項目を示した。危害原因事象について「発生頻度」と「影響の程度」によるマトリックス評価を行った結果、リスクレベルの大きさが同じでもリスクの特徴が異なることがわかった。水質検査計画を解析することで、水道事業者で実施されている水質検査の実態を明らかとすることができた。淀川流域の過去 11 年間の事故発生総数の約 7 割が油の流出によるものであった。事故の発生地点を GIS 上で整理したところ、発生件数の多い地点と取水口の位置関係が明確化され、連続監視装置の効率的な配備計画を検討することが可能となった。また、取扱事業所数や排出量・移動量が多い PRTR 物質の結果から、油以外の水質汚染事故が発生する潜在的なリスクとして VOC の流出が想定された。過去の自動水質計器のデータから、濁度や酸化還元電位、電気伝導度等のデータを利用する場合、基本統計量の解析のみではなく、連続的な変動解析手法に関する検討や制御用の指標値との比較、多項目の相関関係を評価する必要があると考えられた。変動が激しい項目について、複数指標の相関関係の解析を実施したところ、項目により特性が異なることが把握され、主成分分析でもその特性を把握することができた。浄水プロセスにおける水質異常の検知手法であるイベント検知システム（EDS）について、文献調査等を行ったところ、EDS の現段階の性能は異常の判断を完全に委ねるレベルには到達しておらず、運転管理者の補助的な利用に留まると推察された。しかし、今回評価した EDS による異常検知手法は課題があるものの、今後ソフトウェアのアルゴリズムに関して標準化が進み、より簡易的に利用できるよになれば、運転管理の質を高めることが期待できると考えられた。浄水プロセスによって、蛍光強度の明確な減少、特にオゾン処理での減少が認められた。しかし、今回の検討範囲では、励起波長/蛍光波長の組み合わせの違いによる違いについては必ずしも認められなかった。フルボ酸様成分由来とされる励起波長/蛍光波長での蛍光強度と紫外吸光高度のいずれも、簡易分画による疎水性酸の濃度との関連性も認められた。連続監視による性能評価を行う処理として、オゾン接触槽/反応槽を選定し、オゾン反応の予備的な評価を行うとともに、流動モデルと反応モデルを組み合わせた数値解析モデルの構築に着手した。既存の関連指針等を参考に、摂取制限等をとまなう給水継続実施にあたっての留意点を検討したところ、特に具体的な周知のあり方の検討が重要であることが分かった。国内では、水道水の水質が水質基準を超過した場合の対応に関して、事前に積極的に広報することの難しさ等の諸課題も指摘され、具体的な周知方法については、引き続き継続して検討することになった。

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

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 10%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報等を総合的に解析し、聞き取り等を通じて、『原水安全度』の簡便化等、中小水道事業体に適用可能な指標・活用法を示す。

監視では、連続性が重視されるため、連続自動水質計器の連続データを解析し、既存の連続自動水質計器の再配置や新たな連続自動水質計器の設置によりデータを取得し、その利用可能性等を検討し、『原水安全度』、『浄水安定度』等の指標による浄水プロセスの最適監視手法を提案する。

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、その具体的方策を提示する。

B. 研究方法

1) 水安全計画を用いた水道水源・浄水プロセス・給配水システムでの危害と監視方法の解析

全国の 23 水道事業者から 33 浄水場の浄水場別水安全計画を入手し、それらの資料をもとにデータベース化を行った。また、害原因事象の発生箇所を、(1) 水源(流域、水源、取水を含む)、(2) 浄水処理プロセス(浄水、計装設備、薬品を含む)、(3) 給配(配水施設、給水システム、貯水槽を含む)の 3 要素に分類し、リスクレベルが高い危害原因事象および危害関連項目として、3~5 のリスクレベルのものについて抽出、解析をおこなった。

2) 水質検査計画に見る水道事業者における水質検査・監視の実態

水質検査計画をホームページ上に公開している全国 56 箇所の水道事業者を対象として、水質検査計画を収集した。水質管理目標設定項目、要検討項目、耐塩素性病原微生物の検査状況(検査回数、検査地点等)、および検査体制について解析した。

3) 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

平成 15~25 年度の淀川流域における水源水質事故情報を基に、原因物質の内訳や、発生地点、原因者が判明した件数等を整理し、危害発生地点を GIS 上で図示化した。また、PRTR に基づき集計されたデータを整理し、淀川流域内の届出事業所数や取り扱う物質の排出量・移動量についてランキング化を行い、水質汚染事故が発生する潜在的なリスクを評価した。

淀川流域内の水道取水口に設置されている揮発性有機化合物計や蛍光強度測定結果の活用について、基礎的な検討を行った。

4) 連続自動水質計器のデータ解析に関する予備的検討

表流水を水源とする 2 浄水場における過去の自動水質計器の 1 時間ごとのデータを入手し、Origin Pro 2015(作図・解析ソフト、OriginLab 製、株式会社ライトストーン販売)を用いて、相関関係、主成分分析等の解析を行った。

5) イベント検知システムに関する調査

イベント検知(EDS)の取り組みについて

て、米国環境保護庁（USEPA）による調査報告書（Water Quality Event Detection System Challenge: Methodology and Findings）、および Whitewater 社の説明資料等を基に調査した。また、Whitewater 社の BlueBox™ を、クラウド環境で評価した。

6) 三次元蛍光スペクトルを用いた浄水プロセスでの溶存有機物の特性解析

高度浄水処理を導入している 2 浄水場の工程水を採取し、三次元蛍光スペクトル（EEM）、紫外外部吸光度を測定した。また、市販カートリッジを用いた簡易分画を行い、DOC 濃度で評価した。

7) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

水道事業者への聞き取りを通じて対象とするプロセスおよびその監視項目にてついでにニーズ調査を行った。実際にオゾン処理を導入している浄水場の凝集沈殿とオゾン接触槽の間から、試料を採取し、回分式実験を行い、オゾンの分解速度について、検討した。

8) 突発的水質事故時の摂取制限等をともなう給水継続への対応

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」の項目を踏まえ、水質事故対応に関する指針の項目に関する検討を行った。平成 23 年の東日本大震災に伴う原子力発電所からの放射性物質放出事例における水道における対応について整理し、緊急時における広報、クライシスコミュニケーション、初動対応の重要点について検討を行った。平成 26 年 1 月に米国ウエストバージニア州チャールストンで発生した化学物質事故の事例を元に、住民への周知を目標とした公報のあり方について検討した。

C. 研究結果および D. 考察

1) 水安全計画を用いた水道水源・浄水プロセス・給配水システムでの危害と監視方法の解析

事業者規模と危害原因事象別の危害関連項目の関係について見たところ、規模が大きいほど危害関連項目の総数を多く設定していた。原水の種類別の危害関連項目数（浄水場平均値）は、表流水を原水としている

浄水場の方が、リスク管理の対象となる危害関連項目数が 2 倍以上多かった。危害原因事象の発生箇所を（1）水源、（2）浄水プロセス、（3）給配の 3 つに分類した際の、危害関連項目数（33 浄水場の総数）は、全リスクレベルの場合は、浄水プロセス、水源、給配の順に多かった。しかし、リスクレベルが 3～5 の危害関連項目数の割合は、給配が最も多く、水源、浄水プロセスの順となった。

水源について、原水の種類として表流水と地下水に分けて解析を行ったところ、表流水の場合、危害関連項目数が多かった危害原因事象は、「降雨」、「工場、クリーニング排水」、「テロ」、「処理施設からの放流水」、「人為的な不法投棄」であった。このうち、「降雨」において、多く挙げられていた危害関連項目は濁度と耐塩素性病原生物、「工場、クリーニング排水」では臭気とシアン、「テロ」および「人為的な不法投棄」ではシアンその他毒性物質であった。地下水を原水としている浄水場においては、データ数が少ないため、系統的な解析は困難であったが、浅井戸・湧水の場合、危害関連項目数が多かった危害原因事象は、「降雨」および「地震等」であった。また、全体として数が多かった危害関連項目は、耐塩素性病原生物、放射性物質、トリクロロエチレンであった。

危害関連項目の発生頻度と影響程度について、リスクマトリックスを用いた評価をおこなったところ、表流水の場合、「降雨」は、起こりやすく、やや影響も大きい、「工場等排水」は、あまり起こらないが影響は大きい、「処理施設放流」と「テロ」は、滅多に起こらないが、影響は甚大、であった。

浄水プロセスについては、原水が表流水の場合は急速ろ過を、地下水の場合は消毒のみを対象として、解析を行った。このとき、浄水プロセスを「浄水」、「計装設備」「薬品」、に分けて整理、解析した。

急速ろ過（表流水）の場合、「浄水」においては、危害原因事象として、「設定ミス、注入ポンプ等異常」を挙げている浄水場が多く、また、危害関連項目は、濁度、耐塩

素性病原生物、および残留塩素が、総数と浄水場数のいずれも多かった。「計装設備」においては、モニタリング機器異常・故障が、「薬品」においては、注入管の目詰まり、薬品受入れミス、注入器の故障、長期保存による劣化などが、危害関連項目の多い原因事象であった。後者の場合、濁度、残留塩素などを、危害関連項目として挙げているところが多かった。

消毒のみ（地下水）について、代表的な危害原因事象および関連項目を整理したところ、「浄水」、「計装設備」、「薬品」、のいずれも危害原因事象の数は少なかった。しかし、消毒に関連した危害原因事象である次亜の注入不足と過剰注入、モニタリング機器異常・故障、貯留日数大を挙げているところがあり、これらの優先度が高いことが示された。

給配水については、「管路（送水・配水・一部給水も含む）」「給水管（管路と明確に区別されている場合）」、「貯水槽」、「配水池」に分類して解析を行った。「管路」の場合、管劣化・腐食、クロスコネクション、漏水箇所からの汚染が、「給水管」では給水管の劣化、およびクロスコネクションが、「貯水槽」では清掃不足、テロ、およびクロスコネクションが、「配水池」では停電、およびモニタリング機器異常・故障が、危害関連項目数が多い、危害原因事象であった。危害原因事象と危害関連項目に関するリスクマトリックス評価を行ったところ、頻度が高くかつ影響の程度も大きいものとして貯水槽の清掃不足が認識されていた。クロスコネクションは、頻度は低いものの影響は重大から甚大と認識されていた。テロは滅多に起こらないが起こった場合の影響は甚大であると考えられており、この傾向は、水源、浄水プロセスと同様であった。

2) 水質検査計画に見る水道事業者における水質検査・監視の実態

水質管理目標設定項目および要検討項目の検査項目数は、給水人口が多い大規模事業者ほど検査項目数が多い傾向にあり、要検討項目において特にその傾向が強かった。

項目別の検査事業者数は、水質管理目標設定項目については、過マンガン酸カリウ

ム消費量、亜塩素酸、二酸化塩素が検査を省略されやすい項目であった。要検討項目では、ダイオキシン類、キシレン等が比較的多くの事業者で検査対象となっていた。検査回数は、検査項目同様に、給水人口の多い大規模事業者ほど多い傾向にあった。

「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」では、クリプトスポリジウム等耐塩素性病原微生物の検査・監視は基本的に水道原水で行うこととなっているが、「レベル4（原水が地表水かつ指標菌検出）」の場合、半分の浄水場で原水のみでなく浄水も検査していることがわかった。一方、「レベル3（原水が地下水かつ指標菌検出）」の場合、全ての浄水場で浄水の検査は実施していなかった。

検査体制は、大規模な事業者では自己検査が多かったが、一方、中小規模の事業者では、委託検査を基本としていることがわかった。

3) 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、対象期間中の水源水質事故の発生総数は295件であった。内訳をみると、事故原因の約70%が油であった。また、水道事業者の沈砂池や着水井で影響が確認された件数は18件（6%）で、いずれも油であった。浄水に影響を与えた事例はなかった。原因者が特定された件数は131件（45%）であった。原因者の内訳を見ると、事業所以外（不法投棄を含む）が86件、事業所が45件であった。水源水質事故発生地点を事故の種別ごとに図示化したところ、発生件数の多い地点が明確化され、取水口位置と関連付けることで、連続監視装置の効率的な配備計画を検討することが可能となった。

淀川流域の平成24年度PRTR届出事業所で取り扱われている物質、PRTR届出排出量と移動量の合計量が多い物質を抽出したところ、いずれもVOCが上位にあった。すなわち、淀川流域で事業所に由来した油以外の水質汚染事故が発生する潜在的なリスクとしては、VOC（特にトルエン）の流出による事故発生のリスクが高いと推定された。

平成 26 年 9 月 11 日に淀川 6 事業体の浄水場で発生した油臭による事故時における、阪神水道企業団大道取水場の VOC 計の測定結果から、VOC 計が油類検知のための計器として活用できる可能性があることがわかった。また、A 重油と灯油を精製水に添加したときの、三次元蛍光スペクトルの結果から、蛍光強度のピークの違いを活用することで、油類の流出事故の監視に用いることができると考えられた。

4) 連続自動水質計器のデータ解析に関する予備的検討

ある浄水場における原水水質（濁度、TOC、UV、SUVA、電気伝導度、pH、総アルカリ度、水温）および処理水水質（UV、濁度）の相関行列（直線は相関直線、楕円は信頼円）を見たところ、それぞれが正の相関により関連する項目と、負の相関により関連する項目、特段の関連が見られない項目があることが示された。特に、濁度と TOC、UV は、高濁度の場合を含めると正の相関関係を示し、一方、アルカリ度などは流量が増えると希釈効果で逆数関係に近い関係を示していた。pH、水温等は、季節変動と見られる変動が大きかった。

主成分分析を行ったところ、累積寄与率は 2 項目で 62% に達した。主成分第 1 因子については、濁度の変動が大きかったため、その影響が強く出ていた。主成分第 2 因子 2 では、pH と水温等の自然変動因子の存在可能性が考えられた。

あくまでも予備的な検討であるが、特に今回例となった大規模河川の表流水における濁度変化のような水質因子を評価する場合は、濁度の変動が急激に起こる場合があることから、1 時間毎以上の頻度で計測されたデータを用いることが望ましいと考えられた。

5) イベント検知システムに関する調査

米国における、EDS が評価された背景、開発状況について文献調査を基に整理した。EDS の解析において、オペレーションや通信異常によるものか、実際の水質異常（イベント）によるものかを自動的に検知すること、また、予測と実際の間での判断の違い、特に False negative（水質異常が“ある”のに水質異常が“ない”と判断）に注意が

必要である。

USEPA が、米国内外の 5 社の EDS の評価を 1 年間（学習期間：3 ヶ月、試験データ：残りの 9 ヶ月）行ったところ、汚染物質による模擬検知試験における有効警告は 50～80% の検知率であった。また、適正な連続自動水質計器の設置場所を選定すれば、EDS による無効警告は約 1 件/day 以下に抑えることができること、無効警告の件数を低減し、有効警告の検知率を上昇させる検討が必要であること、が示された。

また、BuleBoxTM の評価を行ったところ、配管中に薬品を注入したとき、多次元頻度分布解析により、上記薬品混入によるイベントの検知は可能であった。しかし、異常の内容はユーザーが決定し、入力する必要があり、リアルタイムでの汚染物質の特定までは難しいと推察された。

6) 三次元蛍光スペクトルを用いた浄水プロセスでの溶存有機物の特性解析

簡易分画の結果、2 浄水場のいずれでも、処理にしたがって、DOC は減少した。組成を見ると、オゾン処理によって、疎水性酸の割合が減少し、全親水性画分（親水性酸、親水性中性+親水性塩基）の割合が増加した。

EEM についても、処理にしたがって、全体的に蛍光強度が減少した。EEM には、成分由来のピークがあることが報告されているため、フルボ酸様成分由来のピーク（（フルボ酸様（蛍光））とタンパク質のトリプトファン様成分由来のピーク（トリプトファン様（蛍光））を採り上げ、浄水プロセスでの挙動を見たところ、いずれも減少していた。両者は由来が異なると言われているため、浄水プロセスでの挙動に違いがある可能性も考えられたが、今回の検討では両者の挙動は類似していた。

紫外部吸光光度、フルボ酸様（蛍光）、簡易分画による疎水性酸の関連性について見たところ、3 者とも関連性は認められた。疎水性酸との関連性については、紫外部吸光光度の方が R^2 は大きかった。

7) 連続自動水質計器を用いた処理性能評価手法の開発

水道事業体への聞き取りを通じた処理性能評価を行う対象プロセスのニーズ調査の

結果、オゾン接触槽/反応槽を選定した。連続監視項目として、溶存オゾン濃度を選定した。研究対象場に、既存の1箇所と新たに最大3箇所に連続計器を設置し、連続データの取得を行うこととした。対象浄水場の試料を用いて、溶存オゾン濃度を変えてその分解速度を求め、初期の速やかな反応とその後続く緩やかな反応について確認するとともに、濃度依存性についても評価した。また、予備的検討結果から、これまであまり議論されてこなかった有機物の質変換に関する検討とそれを通じた反応機構の理解がより一層重要であることが示唆された。反応槽内の流動と、対象試料を用いた実験による反応に関するデータを組み合わせた、オゾン接触槽/滞留槽内の溶存オゾン濃度をはじめとする水質項目を再現可能な数値解析モデルの構築に向けた検討に着手した。

8) 突発的水質事故時の摂取制限等をとまなう給水継続への対応

平成23年の東日本大震災の原子力発電所からの放射性物質放出事例、平成24年の利根川水系でのホルムアルデヒド前駆物質による水質事故での状況も踏まえ、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」を参考に、水質事故時の対応について項目立てした場合の例をまとめた。特に、緊急時におけるクライシスコミュニケーションの重要点として、①暫定的であれ行動の基となる基準や指標を関係者及び市民と共有する、②リスクを管理する側は、可能な限り迅速な対応を実施する、③緊急時こそ詳しい事実をすべて可能な限り正確に伝達する、④誤報があった場合は、それに対する理由の説明と誠意ある対応を行う、⑤市民が多様な情報源から一貫した情報が取得できるように、情報提供側が努める、⑥正確な情報を効果的に伝達できる媒体を確保する、⑦市民にもわかりやすい情報を提供する、⑧リスクを軽視せず警告を発する、⑨マスコミ・人々の声を傾聴する、⑩実際には非常に小さいリスクであり、論理的な説明を十分行った場合でも、不安に思う人は存在する、の10点を整理した。

平成26年1月の米国東部ウエストバージニア州カナワ郡チャールストン市で発生した4-メチルシクロヘキサメタノール等の化学物質漏洩による大規模な水質汚染事故

について、現地の水道事業者と米国環境保護庁第3地区の担当者らに対し、インタビューを行った。その結果、保健衛生部局との連携が非常に重要であること、寒冷地で高低差がある場合は特に、常に水を流し続けなければ凍結して管路が破損する恐れがあり、システムの水を止められない場合があること、住民への周知など応急対応には他地区からの応援が必要なことをなどが示された。一方で、国内でも水質事故等により水道水の水質が水質基準を超過した場合の対応に関して関係者らのヒアリングを行っているが、事前に積極的に広報することの難しさなどの諸課題も指摘され、具体的な周知方法については、引き続き継続して検討することになった。

E. 結論

1) 策定済みの水安全計画の情報を基に解析を行うことで、水道システムにおいて高リスクレベルに設定している危害原因事象や危害関連項目について整理することができた。水道システムを「水源」、「浄水プロセス」、「給配」の3つの要素に分類して、個別の解析を行い、それぞれにおいてリスクレベルの高い危害原因事象と関連項目を抽出し、優先度の高いものを明らかにすることができた。危害原因事象について、「発生頻度」と「影響程度」に分けて解析を行った結果、リスクレベルの大きさが同じ場合でも、低頻度・高影響の場合と、高頻度・低影響の場合といったように特徴が異なることが明らかとなった。

2) 水質検査計画を解析した結果、大規模な事業体では検査項目数・検査回数ともに多い傾向にあり、自己検査の比率も高かった。一方、中小規模の事業体では検査項目数・検査頻度ともに低い傾向にあり、委託検査を基本としたことがわかった。

3) 淀川流域における過去11年間の事故発生総数295件のうち、約7割が油の流出によるもので、油事故の発生地点をGIS上で整理したところ、発生件数の多い地点と取水口の位置関係が明確化され、連続監視装置の効率的な配備計画を検討することが可能となった。取扱事業所数や排出量・移動

量が多い順に PRTR 物質を整理したところ、油以外の水質汚染事故が発生する潜在的なリスクとして VOC の流出が想定された。

4) 過去の自動水質計器のデータから、濁度や酸化還元電位、電気伝導度等のデータを利用する場合、基本統計量の解析のみではなく、連続的な変動解析手法に関する検討や制御用の指標値との比較、多項目の相関関係を評価する必要があると考えられた。変動が激しい項目の評価に対し複数指標の相関関係の解析を実施した結果、項目により特性が異なることが把握された。主成分分析でもその特性を把握することができた。

5) EDS に関する文献調査等を行った結果、その手法は簡便にリスクを把握する指標を考案する上で役立つものであると考えられた。しかし、実際に浄水プロセスにおける水質異常の検知手法として、ISO や USEPA により検討されているものの、その性能は異常の判断を完全に委ねるレベルには到達しておらず、運転管理者の補助的な利用に留まると推察された。このため、EDS は研究開発のフェーズが今後も続く予測された。

6) 浄水プロセスによって、蛍光強度の明確な減少、特にオゾン処理での減少が認められた。しかし、今回の検討範囲では、励起波長/蛍光波長の組み合わせの違いによる違いについては必ずしも認められなかった。フルボ酸様成分由来とされる励起波長/蛍光波長での蛍光強度と紫外外部吸光高度のいずれも、簡易分画による疎水性酸の濃度との関連性も認められた。

7) 連続監視による性能評価を行う処理として、オゾン接触槽/反応槽を選定し、オゾン反応の予備的な評価を行った。また、流動モデルの修正を行い、流動モデルと反応モデルを組み合わせた数値解析モデルの構築に着手した。

8) 水質事故時の対応、特に摂取制限を伴う給水継続を行う場合の公報では、特に正確な情報を迅速に分かりやすく、徹底して伝達できる情報伝達手段の確保と応援態勢の確保が重要であることがわかった。一方で、日本国内では水道水の水質が水質基準を超

過した場合の対応に関して、事前に積極的に広報することの難しさなどの諸課題も指摘され、具体的な周知方法については、引き続き継続して検討することになった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 浅見真理. 放射性物質による水質汚染事故対応とリスクコミュニケーションの事例. 水道. 59 (5), 29~37, 2014. (査読無し)
- 2) 金見拓, 高橋和彦. 水源水質汚染事故時の水道事業体の対応 ~近年の事例から. 水環境学会誌, 38A (3), 95~99, 2015. (査読なし)

2. 学会発表

なし

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

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

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

平成26年度 分担研究報告書

平成27年3月

分担研究報告書 1

水安全計画を用いた水道水源・浄水プロセス・
給配水システムでの危害と監視方法の解析

研究分担者	大野	浩一
研究代表者	小坂	浩司
研究分担者	秋葉	道宏
研究協力者	岸田	直裕

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）
「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」
分担研究報告書

研究課題：水安全計画を用いた水道水源・浄水プロセス・給配水システムでの危害と監視方法の解析

研究分担者	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
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
研究協力者	岸田 直裕	国立保健医療科学院生活環境研究部水管理研究領域
研究分担者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院

研究要旨

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において、優先度の高い危害原因事象や危害関連項目などについて明らかにすることを目的とし、策定済の水安全計画データを用いた解析を行った。全国 23 水道事業体 33 浄水場の水安全計画に対する解析の結果、地下水よりも表流水を原水とする浄水場の危害関連項目設定数が多いこと、また浄水場規模が大きいほど設定している危害関連項目数が多いことが明らかとなった。また、水道システムを「水源」、「浄水プロセス」、「給配」の 3 要素に分類して解析を行い、それぞれにおいて優先度を高く設定している危害原因事象と関連項目を明らかにすることができた。さらに、危害原因事象について「発生頻度」と「影響の程度」に分けたマトリックス評価を行った結果、リスクレベルの大きさが同じ場合でも、低頻度・高影響の場合と、高頻度・低影響の場合といったようにリスクの特徴が異なることが明らかとなった。リスクの特徴が異なる事象や危害により、最適な監視方法や管理・制御方法が異なるであろうことが示唆された。

A. 研究目的

安全な水道水を供給する観点から、水道システム、特に水道水源での危害を同定し、水源あるいは浄水プロセスにおいて水質変動・異常を検知し、迅速に対応することが重要な課題の一つである。しかしながら、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低く、特に中小水道事業体ではこれらの課題への十分な対応は取られていない。

そこで本研究では、すでに水安全計画を策定している水道事業体の資料をもとに、水道システムにおいて高リスクレベルに設定している危害原因事象や危害関連項目等を抽出し、優先度が高い原因事象と危害関連項目について明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

全国の水道事業体のうち、地域・原水・浄水プロセスなどのバランスを考慮した上で、本年度は 23 水道事業体から 33 浄水場の浄水場別水安全計画を入手し、それらの資料をもとにデータベース化を行った。データベース化した項目は、事業体名、浄水場及び水源、原水の種類、浄水処理プロセス、危害の発生箇所、危害原因事象、危害関連項目、発生頻度、影響程度、リスクレベルを含む 12 項目である。このうち、厚生労働省の水安全計画策定ガイドライン¹⁾を基に危害原因事象を分類し、ガイドラインの分類に当てはまらない約 110 事象について新規に追加した。危害関連項目についても同ガイドラインを基に分類し、この中に当

てはまらない約 60 項目を新規に作成した。なお、本研究で用いる危害関連項目は、水安全計画策定ガイドラインでは、関連する水質項目（関連水質項目）となっている。

リスクレベルはガイドラインにおいて「影響の程度」と「発生頻度」によるマトリックスを用いた半定量的評価に基づき、1（低）～5（高）の 5 段階に設定することが提案されている¹⁾。水道事業体が作成した水安全計画においてもリスクレベルは 5 段階に設定されている場合が多かった。ただし、一部の事業体では 5 段階以外の方法で設定している場合もあった。5 段階以外のリスクレベル設定を行っている場合は、5 段階になるようにリスクレベルを再設定した上で評価した。また、影響の程度、発生頻度の 2 つの指標についても、ガイドラインでは 5 段階で評価することとその具体的な区分が提案されているが、水道事業体の水安全計画は必ずしも同様の区分で評価しているわけではない。このため、本研究では、水道事業体の区分をそのまま使用した。ただし、5 段階以外の段階で評価されている場合は、等間隔で 5 段階になるように機械的に段階の数を変更した。

そのようにして作成した、1～5 のリスクレベルの項目中、本研究では、リスクレベルが高い危害原因事象および危害関連項目として、3～5 のリスクレベルのものについて抽出、解析をおこなった。その際、危害原因事象の発生箇所を、(1) 水源（流域、水源、取水を含む）、(2) 浄水処理プロセス（浄水、計装設備、薬品を含む）、(3)

給配（配水施設、給水システム、貯水槽を含む）の3要素に分類して個別の解析を実施した。

C. 研究結果およびD. 考察

1. 調査対象とした水安全計画の概要と全体的な特徴

まず、本年度調査対象とした23事業体33浄水場の概要を紹介する。対象事業体の地方別内訳を図1、対象浄水場の原水別の浄水プロセスの内訳を図2、施設処理能力による内訳を図3に示す。図1より、中国・四国地方が1事業体と少ないものの、それ以外は全国から万遍なく水道事業体を選定し、水安全計画を収集していることがわかる。図2の原水別の浄水プロセスについては、地下水を原水としている場合では様々な処理方法の浄水場が対象となっているが、表流水を原水としている場合では急速ろ過処理方式が21浄水場と多数を占めていた。図3から、処理能力別にも幅広く資料を集めることができていることがわかる。地下水を原水とする浄水場が表流水を原水とする浄水場よりも施設処理能力が低い傾向であることは、日本全体の傾向と一致している。

次に、事業体規模と危害原因事象別の危害関連項目の関係について見たところ、規模が大きいほど危害関連項目の総数を多く設定しているという傾向が得られた（図4）。事業体規模が大きいほど、水安全計画策定にかかわる労力を増やすことができるためだと考えられた。また、事業体規模が大きい方が、対象となる水源流域や給水区域等も広くなり、より多くの危害原因事象等の考慮が必要となったことも理由の一つに考えられた。

原水の種類別の危害関連項目数（浄水場平均値）を見ると、地下水は110、表流水は236となり、表流水を原水としている浄水場の方が、リスク管理の対象となる危害関連項目数が2倍以上多いことが示された（図5）。これはまた、表流水を使用する事業体の方が大規模な場合が多い事とも関係があると考えられた。

図6に、危害原因事象の発生箇所を（1）水源、（2）浄水プロセス、（3）給配の3つに分類した際の、危害関連項目数（33浄水場の総数）を示す。全リスクレベルにおける危害関連項目数は、浄水プロセスが最も多く（2578）、次いで水源（2073）、給配（1832）となった。しかし、リスクレベルが3～5の危害関連項目数の割合は、給配が最も多く（ $843/1832=44\%$ ）、水源（ $751/2073=36\%$ ）、浄水プロセス（ $742/2578=29\%$ ）の順となった。この理由として、浄水プロセスでは、水処理薬品の注入等を制御しながら行っており、つまり制御項目が多いことから、小さな危害原因事象までが明確になっていることに対し、給配の危害原因事象は水処理薬品注入などといった直接の制御下にはなく、閉じられた系であるため、リスクレベルの

小さな危害原因事象および危害関連項目（水質項目など）が他の発生箇所と比べて明確ではないと考えられた。しかしながら、リスクレベルの高い項目については、各発生箇所でも十分検討されており、大きな差がないことが示された。

2. 危害原因事象の発生箇所別解析

水道システムを、（1）水源、（2）浄水プロセス、（3）給配の3要素に分けてそれぞれの解析を行った。

2.1. 水源における解析

水源については、原水の種類として表流水と地下水に分けて、危害原因事象別の危害関連項目について解析を行った。

まず、危害関連項目数の多い危害原因事象について、表1（表流水）および表3（地下水）にまとめ、次に、数が多かった危害関連項目について項目とリスクレベル別項目数を表2（表流水）と表4（地下水）に示した。

表流水については、危害関連項目数の大きい方から順に、「降雨」、「工場、クリーニング排水」、「テロ」、「処理施設からの放流水」、「人為的な不法投棄」となった（表1）。これら危害原因事象について、数が多かった危害関連項目は、「降雨」では濁度と耐塩素性病原生物、「工場、クリーニング排水」では臭気とシアン、「テロ」および「人為的な不法投棄」ではシアンその他毒性物質であった。「処理施設からの放流水」では、危害関連項目として、耐塩素性病原生物と残留塩素が多かったが、これは「下水処理場の放流水」を意味しているためと考えられた。危害関連項目に着目して整理すると（表2）、特に数が多かった項目は、臭気、濁度、耐塩素性病原生物、シアンその他毒性物質の4つであり、その他、残留塩素、カビ臭物質、水量と続いた。

地下水を原水としている浄水場においては、データ数が少ないため、系統的な解析は困難であった。また、深井戸と浅井戸・湧水との違いにより危害原因事象の傾向も異なるため、以下では浅井戸・湧水の結果を示す。危害関連項目数が多かった危害原因事象は、「降雨」および「地震等」であった（表3）。また、全体として数が多かった危害関連項目は、耐塩素性病原生物、放射性物質、トリクロロエチレンであった。特に、耐塩素性病原生物は、対象の8浄水場全てで危害関連項目として取り上げられており、浅井戸・湧水を原水とする浄水場では非常に優先度の高い危害と認識されていることが明らかとなった。ちなみに、深井戸を原水としている2つの浄水場では、耐塩素性病原生物を危害として挙げていなかった。

また、危害関連項目の発生頻度と影響程度について、リスクマトリックスを用いた評価をおこなった。図7に表流水の結果、図8に地下水（浅井

戸・湧水)の結果を示す。表流水について、図7とこれまでの解析結果をあわせてまとめると、以下のようになる。

「降雨」：起こりやすく、やや影響も大きい(濁度、耐塩素性病原生物、残留塩素など)

「工場等排水」：あまり起こらないが影響は大きい(臭気、毒性物質)

「処理施設放流」：滅多に起こらないが、影響は甚大(耐塩素性病原生物)

「テロ」：滅多に起こらないが、影響は甚大(毒性物質)

「不法投棄」：起こりにくいか滅多に起こらないが、影響は重大か甚大(毒性物質)

地下水については図8などより、降雨と地震等について、滅多にないが影響は甚大であるという特徴が得られた。同じ「降雨」でも、表流水と地下水では危害のとらえられ方が異なることが明らかとなった。

2.2. 浄水プロセスにおける解析

本研究における調査対象の浄水場を原水と浄水処理方式によって分類したところ、表流水の場合、23浄水場のうち急速ろ過が21浄水場であった。地下水においては、10浄水場のうち、消毒のみが4浄水場と一番多かった(図2)。よって表流水においては急速ろ過、地下水においては消毒のみの浄水処理プロセスを対象として、解析を行った。さらに、浄水プロセスを「浄水」、「計装設備」、「薬品」、に分けて整理、解析を行った。

急速ろ過(表流水)における「浄水」、「計装設備」、「薬品」での危害原因事象とそれに対応する各リスクレベルでの危害関連項目数、さらに危害関連項目別の項目数について、それぞれ表5~7に示す。「浄水」については危害原因事象の種類が多かったため、危害関連項目数が10以上の場合のみを記した。「計装設備」、「薬品」については、全てを記した。

表5より、「浄水」においては、危害原因事象として、「設定ミス、注入ポンプ等異常」を挙げている浄水場が多かった。このとき対象となる薬品は、次亜、凝集剤、アルカリ剤、その他、のいずれも多く、水処理薬品の種類によらず、その注入の管理が優先度の高い危害原因事象であると考えられた。危害関連項目については、濁度、耐塩素性病原生物、および残留塩素が、総数と浄水場数のいずれも多いことが明らかとなった。特に、耐塩素性病原生物についてリスクレベル5に設定している場合が多かった。また、シアンその他毒性物質も、多くがリスクレベル5に設定していたが、これは危害原因事象としてテロを想定している場合がほとんどであった。

表6より「計装設備」においては、モニタリング機器異常・故障が危害関連項目の多い原因事象

であった。ただし、浄水場数は4であり、リスクレベルも3が多く、それほど大きなリスクとして設定していないようであった。危害関連項目も特定の水質項目というよりも故障自体に関する項目が多く設定されていた。

表7より「薬品」についての危害関連項目数の多い原因事象として、注入管の目詰まり、薬品受入れミス、注入器の故障、長期保存による劣化などであることがわかった。ただし、浄水場数は最大でも5であり、その数は多くなかった。危害関連項目については、「浄水」の場合に類似しており、濁度、残留塩素などが多かった。

以上、急速ろ過(表流水)における「浄水」、「計装設備」、「薬品」をまとめてリスクマトリックス評価を行った(図9)。

「浄水」においては、設定ミス・注入ポンプ異常のうち、次亜については影響が重大で起こりやすいという設定が多かった(滅多に起こらないという設定も次に多かった)。このとき、危害関連項目は主に残留塩素であった。他の水処理薬品の場合、凝集剤では、挙げられていた危害関連項目は濁度および耐塩素性病原生物であった。アルカリ剤については、pHが危害関連項目として挙げられていた。テロに関しては、シアンその他毒性物質が危害関連項目であることが多く、起こりにくいが影響が甚大であると設定されていた。これは水源の場合と同様であった。

「計装設備」ではあまり目立った項目はなかったが、モニタリング機器異常・故障はやや起こりやすく、影響もやや重大と設定されている傾向があった。危害関連項目は多いが浄水場数は1つだけであった。

「薬品」については、注入管の目詰まり、注入器の故障については、「起こりやすい」から「滅多に起こらない」まで多様な設定があった。危害関連項目としては、残留塩素と濁度が多かった。薬品間違い、仕様外といった受入れミスに関しても、頻度と影響程度は多様であった。長期保存による劣化に関しては、多く挙げられていた危害関連項目は、塩素酸、残留塩素、色度、耐塩素性病原生物であった。滅多に起こらないが影響の程度は重大か甚大と設定されていることが多かった。ただし、薬品に関しては、いずれの危害原因事象も設定している浄水場数は1~2と少なく、多くの浄水場では「薬品」に関する危害原因事象は想定していないように推測された。

最後に、消毒のみ(地下水)における代表的な危害原因事象および関連項目について整理する。消毒のみのプロセスであることから、「浄水」、「計装設備」、「薬品」、のいずれも危害原因事象の数は少なかったが(表8)、消毒に関連した危害原因事象である次亜の注入不足と過剰注入、モニタリング機器異常・故障、貯留日数大を挙げていると

ころがあり、これらの優先度が高いことが示された。それ以外では、異物についてリスクレベルを高く設定していた。

2.3. 給配水システムにおける解析

給配水の危害原因事象および危害関連項目を、「管路（送水・配水・一部給水も含む）」「給水管（管路と明確に区別されている場合）」「貯水槽」、「配水池」に分類し、そのうちリスクレベルを3以上に設定している危害関連項目を抽出し、整理した。結果を表9に示す。また、危害関連項目とリスクレベル別の項目数の関係について表10に示す。

「管路」の場合、管劣化・腐食、クロスコネクション、漏水箇所からの汚染が、危害関連項目数の多い原因事象であった。これらは設定している浄水場数も多かった。滞留時間大・水温高は、危害項目数から見た順位は6位であったが、挙げていた浄水場数は7と多かった。

「給水管」では給水管の劣化、およびクロスコネクション、「貯水槽」では清掃不足、テロ、およびクロスコネクション、「配水池」では停電、およびモニタリング機器異常・故障の危害関連項目数が多かった。特にクロスコネクションは「管路」、「給水管」、「貯水槽」において優先度の高い事象として設定されていた。

危害原因事象と危害関連項目に関するリスクマトリックス評価を行ったところ、頻度が高くかつ影響の程度も大きいものとして貯水槽の清掃不足が認識されていた。発生頻度は高いものの影響がそれほど大きくないものとして、給水管の劣化や管の腐食・劣化などがあつた。クロスコネクションは、頻度は低いものの影響は重大から甚大と認識されていた。テロは滅多に起こらないが起こった場合の影響は甚大であると考えられており、この傾向は、水源、浄水プロセスと同様であった。テロのリスク特性が低頻度だが影響が甚大であるということを考えると、災害と同様に、水安全計画の範疇だけではなく、個別の対策マニュアルの作成の検討も求められていると考えられた。

2.4. 発生箇所別の危害原因事象と関連項目に関する解析のまとめ

まとめとして、表11に原水が表流水、浄水処理が急速ろ過システムの場合における優先度の高い危害原因事象とその危害関連項目を示す。優先度の高い危害原因事象を列挙すると、水源では降雨、工場等排水、処理施設放流水、テロ、不法投棄となった。浄水プロセスでは、水処理薬品の注入過不足、モニタリング機器異常・故障、注入管の目詰まりなどであった。給配水システムにおいては、管劣化、腐食、クロスコネクション、漏

水箇所からの汚水逆流などが挙げられた。また、表12には、原水が地下水で浄水処理が消毒のみの場合のまとめを示す。

本研究における解析を受けて、今後は監視方法およびリスク管理方法や異常時の対応などについて解析を行うこと、また、危害原因事象や関連項目の種類、リスクの特徴により最適な監視方法を抽出し、整理することが重要と考えられた。

E. 結論

策定済みの水安全計画の情報を基に解析を行うことで、水道システムにおいて高リスクレベルに設定している危害原因事象や危害関連項目について整理することができた。全体的な特徴として、表流水を原水としている浄水場の方が地下水を原水としている浄水場よりも、危害関連項目数を2倍以上多く設定していること、また、浄水場の規模が大きいほど危害関連項目数が多いことが明らかとなった。

また、水道システムを「水源」、「浄水プロセス」、「給配」の3つの要素に分類して、個別の解析を行い、それぞれにおいてリスクレベルの高い危害原因事象と関連項目を抽出し、優先度の高いものを明らかにすることができた。危害原因事象について、「発生頻度」と「影響程度」に分けて解析を行った結果、リスクレベルの大きさが同じ場合でも、低頻度・高影響の場合と、高頻度・低影響の場合といったように特徴が異なることが明らかとなった。このことから、リスクの特徴が異なる事象や危害により、最適な監視方法や管理方法が異なることが示唆された。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

1. 論文発表

該当なし。

2. 学会発表

該当なし。

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定も含む。）

1. 特許取得

該当なし。

2. 実用新案登録

該当なし。

3. その他

該当なし。

I. 参考文献

- 1) 厚生労働省健康局水道課：水安全計画策定ガイドライン（平成20年5月版），2008。

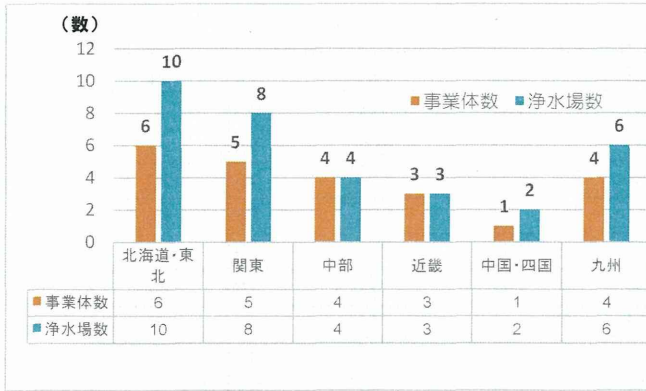


図1 解析対象事業体の地方別内訳

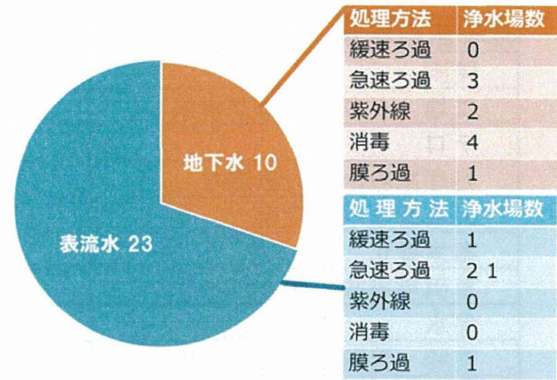


図2 解析対象事業体の地方別内訳

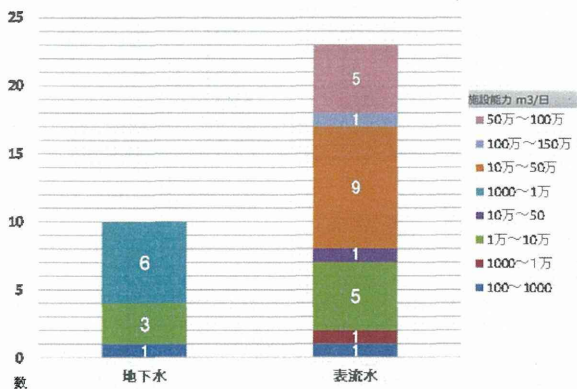


図3 対象浄水場の原水と処理能力による内訳

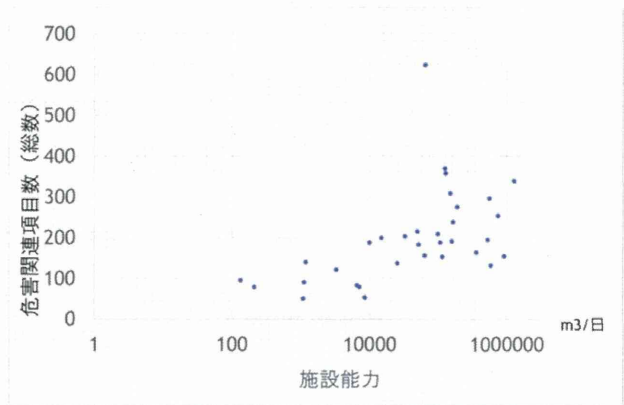


図4 浄水場の施設能力と危害関連項目数の関係

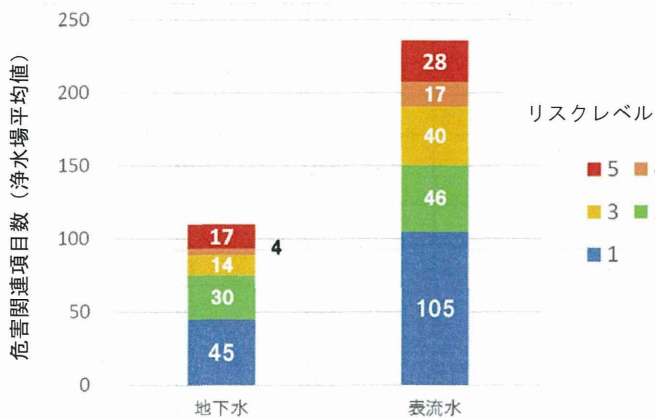


図5 原水種類とリスクレベルに関する危害項目関連数 (浄水場平均値)

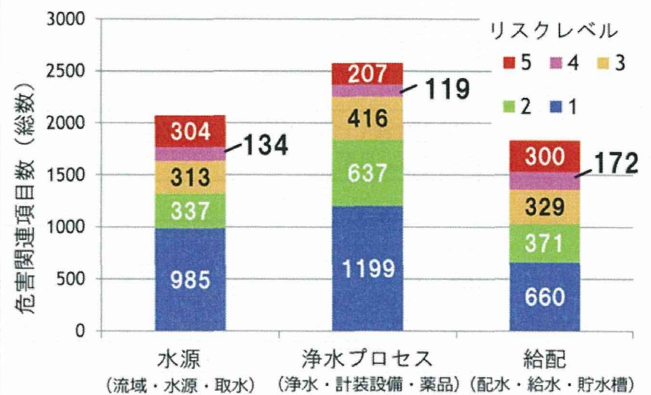


図6 発生箇所別の危害関連項目数 (33浄水場の総数)

表1 水源（表流水）における危害関連項目数の多い危害原因事象

危害原因事象	危害関連項目数				浄水場数
	3	4	5	総計	
降雨	42	15	18	75	20
工場、クリーニング排水	20	13	32	65	7
テロ	10		49	59	17
処理施設からの放流水	33	10	13	56	12
人為的な不法投棄	11		39	50	14
富栄養化	29	12	2	43	11
車両等事故、水上バイク	20	12	7	39	13
濁水	28		2	30	9
養豚・養鶏場からの流出	11	2	13	26	9
その他放流水	19		2	21	4
その他設備異常・障害・故障	9	11		20	4
地質		8	11	19	3
高負荷量の流入	2	15	2	19	1
鉱山廃水の流出		2	10	12	1
土木工事	9		3	12	6
暖房燃料等の油流出	5	4	1	10	9
その他	55	22	50	127	-
総計	303	126	254	683	23

表2 危害関連項目とリスクレベルの関係（表流水）

危害関連項目	危害関連項目数				浄水場数
	3	4	5	総計	
臭気	34	14	7	55	15
濁度	33	15	7	55	19
耐塩索性病原生物	13	4	35	52	18
シアン、その他毒性物質	1	2	46	49	18
残留塩素	11	12	4	27	10
カビ臭物質	21	2	3	26	11
水量	10	3	10	23	9
アンモニア態窒素	13	4	2	19	10
シアン	2	1	15	18	7
有機物質(TOC・過マンガン酸カリウム消費量)	17	1		18	5
色度	12	5		17	7
pH	10	3	2	15	8
油	5	2	8	15	6
農薬類	4	2	9	15	6
臭味	8	3	3	14	5
放射性物質		1	11	12	6
ハロ酢酸	8	1	1	10	2
総トリハロメタン	8	1	1	10	2
その他	93	50	90	233	-
総計	303	126	254	683	23

表3 水源（地下水：浅井戸・湧水）における危害関連項目数の多い危害原因事象

危害原因事象	危害関連項目数				浄水場数
	3	4	5	総計	
降雨	2	2	7	11	6
地震等	1	2	6	9	4
処理施設からの放流水			5	5	2
工場、クリーニング排水			4	4	3
洪水による浸水	4			4	1
開口部からの小動物侵入			3	3	1
ケーシング破損			3	3	3
肥料流出（窒素、リン）		3		3	3
その他	1	0	19	20	
総計	8	7	47	62	8

表4 危害関連項目とリスクレベルの関係（地下水：浅井戸・湧水）

危害関連項目	危害関連項目数				浄水場数
	3	4	5	総計	
耐塩素性病原生物	5		20	25	8
放射性物質			8	8	4
トリクロロエチレン			5	5	3
濁度	2		1	3	2
異物			3	3	1
シアン、その他毒性物質			3	3	1
水量	1		1	2	2
硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素		2		2	2
一般細菌、大腸菌			2	2	1
残留塩素		2		2	2
その他	0	3	4	7	-
総計	8	7	47	62	8

				影響程度				
				取るに足りない	考慮を要す	やや重大	重大	甚大
				1	2	3	4	5
発生頻度	頻繁に起こる	毎月	5	1	4	5	5	5
	起こりやすい	1回/数か月	4	1	3	5	5	
	やや起こる	1回/1~3年	3	1	1	5	5	
	起こりにくい	1回/3年~10年	2	1	1	2	5	
	減多に起こらない	1回/10年以上	1	1	1	1	2	
							5	

処理施設放流

不法投棄

富栄養化

降雨

工場排水

テロ

図7 危害原因事象と危害関連項目に関するリスクマトリックス評価（表流水）

				影響程度				
				取るに足りない	考慮を要す	やや重大	重大	甚大
				1	2	3	4	5
発生頻度	頻繁に起こる	毎月	5	1	4	4	5	5
	起こりやすい	1回/数か月	4	1	3	4	5	5
	やや起こる	1回/1~3年	3	1	1	3	4	5
	起こりにくい	1回/3年~10年	2	1	1	2	3	5
	減多に起こらない	1回/10年以上	1	1	1	1	2	
								降雨 地震等

1 肥料流出 1

図8 危害原因事象と危害関連項目に関するリスクマトリックス評価（地下水：浅井戸・湧水）