

201134003A

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

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 秋葉道宏  
(国立保健医療科学院)

平成24(2012)年 3月

## 目 次

研究班の構成	1
I. 総括研究報告書	
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	5
秋葉 道宏	
II. 分担研究報告書	
1. 気候変動による水道システムへの影響と適応策の整理	17
秋葉 道宏、国包 章一、山田 俊郎、小坂 浩司	
芦田 裕志、岸田 直裕	
2. 気候変動による水質・水量の変化と飲料水の水質管理への影響の評価 (ダム貯水池における水質の長期変動の解析)	31
柳橋 泰生	
3. 水源における水質・生物相の長期的変化の把握と 水道水質管理への影響の評価	37
藤本 尚志	
4. 降雨時の浄水処理データを用いた処理性評価の検討	81
伊藤 雅喜	
5. 地理情報システム (GIS) を活用した気候変動に対応した 水道原水管理・評価手法の開発 －GISを利用した脆弱性評価手法、リスクマップの作成－	95
増田 貴則	
III. 研究成果の刊行物・別刷	103

## 研 究 班 の 構 成

### 研究代表者

国立保健医療科学院統括研究官

秋 葉 道 宏

### 研究分担者

国立保健医療科学院生活環境研究部上席主任研究官

伊 藤 雅 喜

静岡県立大学環境科学研究所教授

国 包 章 一

東京農業大学応用生物科学部醸造科学科准教授

藤 本 尚 志

鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授

増 田 貴 則

福岡女子大学国際文理学部環境科学科教授

柳 橋 泰 生

岐阜大学工学部社会基盤工学科准教授

山 田 俊 郎

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

### 研究協力者

東京都水道局総務部施設計画課長

芦 田 裕 志

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

川崎市上下水道局

田 中 和 明

川崎市上下水道局水管理センター

藤 瀬 大 輝

独立行政法人水資源機構環境室水環境課長

吉 口 進 朗

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

平成23年度 総括研究報告書

研究代表者 秋葉道宏  
(国立保健医療科学院)

平成24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

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

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

本研究は、気候変動による飲料水の安全面への影響を明らかにし、気候変動に適応する有効な飲料水水質管理・飲料水施設管理のあり方を提示することを目的としている。国内外の文献を収集し、気候変動による水道システムへの影響とその適応策についての水道事業者の取り組みを取りまとめた。自然条件等の違いで、ダム貯水池ごとに濁水長期化が起こる降水量や水の流入量が異なることがわかった。A、Bダムでは、濁水長期化が起こりうる気象観測所の日降水量の日数は、それぞれ1960年代からのデータによると、50年に1日程度、10年に1日程度増加していた。一方、Cダムでは、濁水長期化を引き起こす日降水量の閾値は算定できず、120年間の降水量に大きな変化は観察されなかった。草木湖、宮ヶ瀬湖、相模湖のピコプランクトンの群集解析を行った結果、真核ピコ植物プランクトンは5月から6月といった春季から初夏、ピコシアノバクテリアは春季から初夏および秋期に細胞数が高まる傾向が見られた。草木湖から分離した緑藻植物門の *Mychonastes* 属は10℃～30℃の間で、宮ヶ瀬湖から分離したピコシアノバクテリア M-1 株は15～25℃の間で生育が可能であり、水温は細胞増殖にピコプランクトンの増殖に影響をおよぼすが、その種類によって生育する温度範囲が異なることがわかった。2011年の6月の元宿浄水場のろ過水から、黄金色藻綱の *Spumella* 属に近縁なクローンが検出された。長沢浄水場の沈殿水から未培養の系統や既に分離培養されている系統のピコシアノバクテリアが検出された。これらは、濁度障害の原因となる可能性が示唆された。降雨時の浄水場の運転データを用いて、その処理性について重回帰分析により解析を行った。PAC注入率については、原水濁度に代表される要因との相関が高く、いずれの浄水場においても原水状況の応じた注入を実施していた。沈殿処理水濁度は、原水水質変化にともない変動しているが、ろ過水濁度についてはほとんど影響を受けていなかった。ろ過水濁度については、クリプトスポリジウム対策から0.1度以下という低濁度の管理を求められている。原水濁度の変動に対してもろ過水濁度は十分に制御されていることから、前段階である沈殿処理水濁度に留意した制御を行うことが極めて重要となることが明らかとなった。文献調査から豪雨や濁水などにより小規模水道で発生した危害事例を整理した。現地ヒアリングを実施し、島嶼地区および中山間地域での小規模水道を対象に、管理状況と課題を把握した。地域の脆弱性をリスクマップ作成にあたり、浄水方法および浄水供給区域の受益者の年齢構成情報は、利水現況図および国勢調査等より入手し、感染リスク推定のための計算処理ができることを示した。過去の文献から得られた大まかな地域ごとの気候変動時の流況の変化を情報源として扱うことで、気候変動前後の病原微生物濃度や水道水飲用による感染リスクマップを作成できることを示した。

研究分担者

伊藤雅喜 国立保健医療科学院  
生活環境研究部水管理研究分野  
上席主任研究官

国包章一 静岡県立大学 環境科学研究所  
教授  
藤本尚志 東京農業大学 応用生物科学部  
醸造科学科 准教授

増田貴則	鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 准教授
柳橋泰生	福岡女子大学 国際文理学部 環境科学科 教授
山田俊郎	岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 准教授
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分野 主任研究官

## A. 研究目的

IPCC 第 4 次評価報告書にも報告されているように、現在温暖化が生じていることは疑う余地はなく、気候変動にともなう水資源への様々な影響が指摘されている。水資源の量および質ともに直接影響を受ける飲料水供給の分野において、気候変動への緩和策とともに、適応策を講じることが急務である。実際に、豪雨災害による水道施設への物理的な被害、濁度上昇による給水停止、渇水による給水制限、藻類増殖の進行による浄水障害や異臭味被害等が発生しており、また豪雨による濁水発生が過去の多くの飲料水を介した感染症流行事例の要因とされており、飲料水管理において気候変動への適応は健康危機管理上重要な課題であると言える。

本研究は、気候変動による飲料水の安全面への影響を明らかにし、気候変動に適応する有効な飲料水水質管理・飲料水施設管理のあり方を提示することを目的としている。豪雨や渇水等これまでに経験した危機とその対応を整理・分析するとともに、気候変動による飲料水の原水水質への影響に着目し、水源水質の長期的な変化等状況の把握を行う。また、ゲリラ豪雨等による急激な濁度変動を想定し、高濁度原水が浄水処理等に与える影響と浄水処理での有効な対応策を明らかにする。小規模水道にも着目し、小規模水道で気候変動によりどのような影響が起こりうるか過去の事例から整理するとともに、中山間地域の小規模水道、島嶼地区における小規模水道を対象として現地ヒアリングを実施し、管理の実態把握と課題を明らかにする。さらに、GIS を用

いた気候変動による飲料水管理上のリスクを判断するための手法の開発を行い、以上より将来の気候変動に適応できる飲料水管理の方策を提示する。

## B. 研究方法

### 1) 気候変動による水道システムへの影響と適応策の整理

国内外の文献等を収集し、水道事業者が想定している気候変動の影響とそれへの対策について取りまとめた。

### 2) 気候変動による水質・水量の変化と飲料水の水質管理への影響の評価(ダム貯水池における水質の長期変動の解析)

昨年度の研究結果、埼玉県のアダム貯水池の流入端付近に設置されている気象観測所において、日降水量が概ね 150 mm 以上になると濁水長期化が発生することがわかった。この日降水量の変化について、長期のデータ(83年間)を用いて評価した。群馬県のBダム貯水池および高知県のCダム貯水池についても同様の解析を試みた。

### 3) 水源における水質・生物相の長期的変化の把握と水道水質管理への影響の評価

草木湖、宮ヶ瀬湖、相模湖から表層水を採取した。草木湖を水源とする桐生市水道局元宿浄水場の原水と工程水、相模川水系の表流水を原水とする川崎市上下水道局長沢浄水場の原水と工程水も同様に検討を行った。ピコプラクトンをメンブレンフィルターにより集菌後、DNAを抽出し、PCRおよびクローニングにより生物相を解析した。

### 4) 降雨時の浄水処理データを用いた処理性評価の検討

昨年度利用した、河川表流水を原水とする規模の異なる3浄水場(釧路市愛国浄水場、神奈川県内広域水道企業団相模原浄水場、石狩市厚田浄水場)のデータについて、昨年度に引き続き、高濁度原水処理に対する運転条件のための因子について検討した。データ解析についても、昨年度同様に、重回帰分析により検討した。今回の重回帰分析では、目的変数(Y)をPAC注入率( $Y_1$ )、沈澱処理水濁度( $Y_2$ )、ろ過水濁度( $Y_3$ )とした。また、説明変数(X)は、各浄水場に

において設定した。

5) 小規模水道における気候変動がもたらす事象にともなう危害事例とその対応に関する検討

中山間地域や島嶼地区で利用されている小規模水道を対象に、気候変動によって生じる危害事象につき文献等の調査を行った。また、中山間地域や島嶼地区の専用水道などの小規模水道を対象として、特に渇水時、豪雨時、雪害の発生時等における水道水質管理の実態と危機管理体制について現地ヒアリングを実施し、これまでの事例、現在の管理の状況、異常気象時における管理体制などにつき実態を把握し、小規模水道の監視・管理の課題につき検討を行った。

6) 地理情報システム (GIS) を活用した気候変動に対応した水道原水管理・評価手法の開発—GIS を利用した脆弱性評価手法、リスクマップの作成—

昨年度までに検討した GIS を活用したリスク評価手法を踏まえ、地域独自の情報を反映した暴露量評価とするために、地域の浄水方法およびその給水区域の空間情報を提供できる情報源を整理し、これに加え地域別の気候変動時の流量低減・渇水を予測するための情報源を整理した。また、ヒトの年齢別構成を考慮して感染リスクを評価する手法の適用に必要な空間情報の情報源について整理した。これらの方法と情報を鳥取県千代川の流域に適用し、将来の気候変動時での給水区域別の感染リスクの評価について地域脆弱性マップとして表示した。

## C. 研究結果およびD. 考察

1) 気候変動による水道システムへの影響と適応策の整理

米国、オーストラリア、フィリピン、ザンビア、日本の水道事業者による、気候変動に対する影響の評価とその適応策についてのケーススタディによると、気候変動による影響として、水需要の増加、渇水、洪水と海面の上昇、沿岸部での洪水、給水量の減少、降雨流出タイミングの変化、藻類増殖、異臭味問題、病原微生物の増加、濁度の上昇、雪塊の減少等が挙げられている。これらは、複数の事業者で挙げられて

いる場合が多かった。

適応策は危害原因事象によって異なるが、降雨パターンの変化にともなう影響については、水道システムの運転管理を調整等があった。渇水については、代替水源の確保、節水、貯水池容量の増加、水需要管理計画の改訂、オフラインの受水槽の設置や配水管の改良、水道水源林の保全管理、漏水防止対策の推進等があった。適応策については、水道事業者によって類似しているものもあったが、独自のものもあった。

2) 気候変動による水質・水量の変化と飲料水の水質管理への影響の評価(ダム貯水池における水質の長期変動の解析)

昨年度の研究結果から A ダム貯水池では、近傍の観測所の日降水量が概ね 150 mm 以上になると、貯水池や放流水に濁水現象が生じることが示された。そこで、近傍の a 観測所のデータを解析したところ、1978 年 1 月～2010 年 12 月までの 33 年間で、日降水量が 150 mm 以上となった年間の日数は、僅かながら増加の傾向を示した。次に、長期のデータがある a 観測所の近くの b 観測所のデータを用い、日降水量が 100mm 以上となった日数の推移解析したところ、1930 年代から現在までのデータに基づき長期的傾向をみた場合は、ほぼ変化がないと評価できた。一方、1960 年代から現在までのデータからみた場合は、大雨がある年間の日数は 60 年程度で 1 日増加していると評価された。

同様の解析を B ダム貯水池について実施したところ、近傍の c 観測所で日降水量が 50 mm 以上となった際に濁水長期化が発生する傾向が認められた。c 観測所の近くに位置する d 観測所において、日降水量が 25 mm 以上となった日数の推移を解析したところ、1900 年代から現在までのデータから長期的傾向をみた場合は、ほぼ変化がなかった。一方、1960 年代から現在までのデータからみた場合は、大雨がある年間の日数は 10 年程度で 1 日増加していると考えられた。

C ダム貯水池について解析を実施したところ、濁水の発生に対する日降水量の閾値は認められなかった。1886 年 1 月から降水量が観測されている e 観測所の降水量について、日降水量が 50 mm 以上および 25 mm 以上となった日数の推移を解析したところ、日降水量が 50 mm 以上の日数は、時代によ

る変化が小さかった。

### 3) 水源における水質・生物相の長期的変化の把握と水道水質管理への影響の評価

草木湖の自家蛍光を有するピコプランクトン群集は、真核ピコ植物プランクトン (CH-type) とピコシアノバクテリアの PE-type から構成されることが示された。真核ピコプランクトンについてクローニングを行ったところ、2009年6月~2011年10月までの間で検出された独立栄養性に位置づけられるクローンは680OTUs、従属栄養性に位置づけられるクローンは590OTUsに分かれることが明らかとなった。Single cell で存在するピコシアノバクテリアの PE-type の細胞数は  $10^3 \sim 10^5$  cells/ml のオーダーで推移し、2010年10月、2011年5月に  $10^5$  cells/ml 以上となった。細胞数が多い2010年5月、8月、10月、2011年5月はいずれも水温が  $16^\circ\text{C}$  を超えており、ピコシアノバクテリア細胞数の増減に関わる因子の一つとして水温が示唆された。クローンの16S rDNA塩基配列の相同性検索結果より、2010年6月、2011年9月を除くすべての試料において *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なピコシアノバクテリアが検出された。各系統群の割合の推移を解析したところ月によって構成される系統群やその割合が変化していることから、ピコシアノバクテリアの生物相は時期によって変化していることが示唆された。

元宿浄水場の原水中からは、2011年6月では2010年に比べ検出される微生物の種類が少なく、放流水、着水井では黄金色藻綱の *Uroglena* 属、沈殿水、ろ過水では同じ黄金色藻綱の *Spumella* 属に近縁なクローンが多く検出された。草木湖放流水では検出されていなかったピコソエカ綱などに近縁な微生物が着水井で検出されるようになり、流下過程で河川由来の微生物が増加することがわかった。ろ過水では *Spumella* 属に近縁なクローンの割合が100%を占め、これらは砂ろ過を通過しやすい微生物であることがわかった。

宮ヶ瀬湖では真核ピコ植物プランクトン (CH-type) はほとんど観察されず、PE-type

が主要なピコシアノバクテリアであることが明らかとなった。シングルセルで存在する PE-type は  $10^3 \sim 10^5$  cells/ml のオーダーで推移し、2011年は11月に最大 ( $7.8 \times 10^4$  cells/ml) となり、秋期に細胞数が高まることが明らかとなった。各月のクローンについて相同性検索を行ったところ、検出された回数が多く宮ヶ瀬湖の主要なピコシアノバクテリアと考えられる OTU (M1~M5) は Group B、Group H、PD II、LM A、LM B に位置づけられることが明らかとなった。

相模湖では、CH-type のピコプランクトンは観察されず、single cell で存在する PE-type のピコシアノバクテリアは、宮ヶ瀬湖、草木湖より細胞数が少なかった。クローニングにより得られた OTU について相同性検索を行ったところ、Uncultured cyanobacterium clone TH\_d331 といった、相模湖と同様に富栄養湖である中国の太湖で検出されたクローンが検出された。また、PC-type が優占していた2011年8月では *Synechococcus* sp. MA0607K に近縁なクローンが検出された。

長沢浄水場の原水、沈殿水中で観察されたピコシアノバクテリアは、single cell で存在する PE-type および群体形成性の PE-type が主であることが明らかとなった。また、沈殿水からは、未培養の系統や既に分離・培養されている系統の微生物が検出され、これらの微生物が濁度障害の原因となる可能性が示唆された。

草木湖から分離したピコプランクトン、宮ヶ瀬湖から分離したピコシアノバクテリアについて、増殖におよぼす水温の影響について検討した。前者の場合、*Mychonastes* sp. KP-3 株は  $10 \sim 30^\circ\text{C}$  の間で生育可能であり、後者の場合、ピコシアノバクテリア M-1 株は  $15 \sim 25^\circ\text{C}$  の間で生育が可能であった。すなわち、ピコプランクトンの種類によって生育する温度範囲が異なることが明らかとなった。*Mychonastes* 属は、草木湖において夏期、冬期においても検出されるが、これは  $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$  の温度範囲で増殖できるためと考えられた。宮ヶ瀬湖において夏期、および水温が  $15^\circ\text{C}$  以下において PE-type の



細胞数が低下する傾向にあるが、これは培養実験において 10℃、30℃で増殖しないことと一致するものと考えられた。

#### 4) 降雨時の浄水処理データを用いた処理性評価の検討

愛国浄水場の場合、沈澱水濁度は、濁度上昇～ピーク時に関しては、原水濁度の増加にともない PAC 注入率も増加させているが、結果として沈殿処理水濁度が下がる傾向は認められなかった。このため、重回帰分析では原水濁度が高い・PAC 注入率が高い際に沈殿処理水濁度も高くなるという結果となった。また、濁度上昇～ピーク時には、PAC の注入とその効果にタイムラグがあると考えられた。ピーク～濁度下降時においては、濁度上昇～ピーク時に比べ原水濁度の変動幅は少なく、また PAC 注入率も大きく変化はしなかった。このような状況で沈殿処理水濁度が変化していることから、濁度上昇～ピーク時と異なり PAC 注入率と沈殿処理水濁度の相関が認められなかった。

相模原浄水場の場合、原水濁度と PAC 注入率は強い相関が認められ、原水濁度を重点において PAC 注入率を決定すればほぼ適切な浄水処理を行うことができることがわかった。しかし、沈殿処理水濁度については、原水濁度急変時に一般的な変動とは違うデータになることがあった。また、ろ過池濁度については多少の濁度の上昇では変動しないため、変数が多重共線性の検討により削除される、または値が小さく最適モデルに反映されない、さらには正と負が反対に出る等信頼性に欠けると傾向があった。

厚田浄水場の場合、今回の分析で、総ろ過流量の変動により影響を受けるものの、PAC 注入率に大きな影響を及ぼす因子は原水濁度であった。このため、原水濁度に重点において PAC 注入率等を決定すればほぼ適切な浄水処理を行うことができることがわかった。また、沈殿処理水濁度に影響を与える因子は、原水濁度・総ろ過流量・混和池 pH であったことから、これらを確認しながら PAC 注入率等を決定すればある程度の信頼性で浄水処理を行うことができると考えられる。一方、ろ過水濁度に関しては、変動幅が小さいため、変数によって説明が出来るデータにはなっていなかった。

各浄水場に共通する要因のデータ(共通

項目)を用いて、ケース毎に重回帰分析結果の比較を行った。PAC 注入率については、どのケースにおいても濁水濁度の影響が大きかった。沈澱水濁度については、濁度上昇～ピーク時の場合、補正  $R^2$  が高かった愛国浄水場と厚田浄水場のケースで判断すると、原水濁度および混和池(着水井)pH が共に正の相関となり、これらは、注視すべき指標の候補になり得ると考えられた。一方、ピーク～濁度下降時については、原水濁度および混和池(着水井)pH に相関が認められ、注視すべき指標となる可能性はあると推測されたが、現時点では明確には出来なかった。

#### 5) 小規模水道における気候変動がもたらす事象にともなう危害事例とその対応に関する検討

これまでの厚生労働省などへの報告や文献から、簡易水道等の小規模水道において、豪雨時による水源の影響による断水などの危害が発生した事例を調査し、豪雨による濁水によって断水が発生する事例が毎年発生していた。海外では降雨時に農地等から病原微生物が水源へ流出することによる健康被害事例が発生しており、良質な水源水質に依存しる過などの浄水処理プロセスを有していない水道システムの場合は、水源監視の必要性が高いといえる。

島嶼地区における水道として沖縄県の石垣島および宮古島における上水道および専用水道を対象として、水源や水道施設の日常的な管理状況、危害発生時における衛生部局との連携体制などの管理体制、渇水時や豪雨時における管理体制および過去の経験等について現地ヒアリングを実施したところ、調査対象の小規模水道は全てその水源として地下水を利用していることが示された。水量、水質とも安定かつ良好な状態のため、暴風雨時や小雨による渇水時においても断水等の被害は発生していなかった。過去に経験した障害の原因は暴風時の停電であり、島嶼地区においては電源確保が重要であるとの認識であった。いずれの施設においても、自家発電装置が用意され、過去停電時にも活用された。保健所・環境監視員との連絡体制は、担当者レベルで構築

されていたが、マニュアル等は見られなかった。

平成 22 年 12 月 31 日から平成 23 年 1 月 1 日にかけて、島根県松江市において記録的な大雪が発生し、それにもとない、大規模な停電や断水被害が生じた。また、一部の地区では、積雪に加え倒木が発生したことによって道路が遮断され、孤立集落と化した。雪害発生時の対応としては、松江市水道局によって、断水区域において給水車による応急給水や給水袋の配布が行われた。また、一部の地区では消防団等による自主的な給水活動も実施され、中山間地域における住民同士の結びつきの重要性が確認された。雪害後の対応としては、停電による断水被害を軽減するために、発電車が導入された。また、電力会社が水道施設の場所を把握しておらず、復電が計画的に行われなかったことが被害を拡大させた要因の 1 つであったことから、雪害以降、電力会社と情報共有を図る機会を増やし、関係を強化させている。また孤立が予想される地区に衛生携帯電話を配備することで、情報伝達の問題の解決に努めている。さらに水道局においても除雪機を購入する等の対応も行っている。

6) 地理情報システム (GIS) を活用した気候変動に対応した水道原水管理・評価手法の開発—GIS を利用した脆弱性評価手法、リスクマップの作成—

浄水方法の場合、水道統計や全国浄水場ガイドを参照できるが、浄水場の位置については昨年度までに報告したように一般に利用可能な情報源は存在していない。給水区域の場合、全国の一級河川流域に限るが、主要水系調査利水現況図数値データ (国土交通省土地・水資源局) より GIS の Shape 形式で入手・利用することができた。

気候変動の影響が地域の降水量、流況、渇水流量にどのような影響を与えると予測されているのか文献整理を行ったところ、気候変動時の降水量について予測を行っている研究は幾つかあるが、直接河川流量 (流況) の変化についてまで言及しているものはあまり見あたらなかった。また、幾つか

の流域については河川流況の予測は行われていたが、日本全域の河川を対象に流況予測を行い、その結果を利用可能な形で公開しているような情報源は、本研究の範囲では見つけることはできなかった。しかし、文献から得られる地域ごとの大まかな情報を流況変化として与えることで気候変動後のリスク評価を行うことは可能と考えられた。

対象給水区域の年齢別リスク評価手法については、過去の文献で提案された式に基づいて、評価することとした。一方、これらの計算処理を行うためには、給水区域の年齢階級別人口が必要となるが、現時点までの年齢階級別人口については、国勢調査の結果を活用することで対応できると考えられた。将来の年齢階級別人口については、将来の人口推計は、公表されている将来人口推計結果を利用し、GIS による按分処理を行うことで将来の給水区域の年齢階級別人口を推定することが可能であると考えられた。

これまでの手法を用いて、鳥取県千代川流域の水道給水区域を対象に、現状の人口構成・浄水方法・流況における給水区域ごとの一人当たりの年間感染リスクの評価結果についてマップとして表示した。また、将来の人口減少下の社会において現状の浄水方法・流況が継続するとして年間の感染リスクを評価し、それらと現状のリスクとの比較を行った。さらに、河川流量が現在の 0.8 倍とした場合の、将来の予測人口構成における現状のリスクとの比較を行った。その結果、将来の人口構成の変化 (高齢化と人口減少) を考慮した場合、現状より感染リスクが小さくなる給水区域がほとんどであるが、気候変動による低水流量や渇水流量の減少が起きると人口構成の変化は相殺され現状より数倍程度リスクが高くなる給水区域が出てくることが予測された。

## E. 結論

- 1) 国内外の文献を収集し、気候変動による水道システムへの影響とその適応策についての水道事業者の取り組みを取りまとめた。
- 2) 自然条件等の違いで、ダム貯水池ごとに濁水長期化が起こる降水量や水の流入量が

異なることがわかった。A、Bダムでは、濁水長期化が起こりうる気象観測所の日降水量の日数は、それぞれ1960年代からのデータによると、50年に1日程度、10年に1日程度増加していた。一方、Cダムでは、濁水長期化を引き起こす日降水量の閾値は算定できず、120年間の降水量に大きな変化は観察されなかった。

3) 真核ピコ植物プランクトンは5月から6月といった春季から初夏、ピコシアノバクテリアは春季から初夏および秋期に細胞数が高まる傾向が見られ、気候変動にともない水温トレンドが変化した場合、細胞数が高まる時期が変化する可能性が示唆された。浄水場において濁度障害を引き起こす可能性のあるピコプランクトンの種類が明らかとなった。

4) 降雨時の浄水場の運転データを用いて、高濁度処理に関するデータ解析に重回帰分析を適用した。PAC注入率については、原水濁度に代表される要因との相関が高く、いずれの浄水場においても原水状況の応じた注入を実施していた。沈殿処理水濁度は、原水水質変化にともない変動しているが、ろ過水濁度についてはほとんど影響を受けていなかった。ろ過水濁度については、クリプトスポリジウム対策から0.1度以下という低濁度の管理を求められている。原水濁度の変動に対してもろ過水濁度は十分に制御されていることから、前段階である沈殿処理水濁度に留意した制御を行うことが極めて重要となることが明らかとなった。

5) これまでの厚労省などへの報告や文献から、簡易水道や専用水道等の小規模水道において、渇水時のみならず、豪雨による濁水による断水が生じる事例が見られた。海外では降雨時に農地等から病原微生物が水源へ流出することによる健康被害事例が発生しており、良質な水源水質に依存しろ過などの浄水処理プロセスを有していない水道システムの場合は、水源監視の必要性が高いといえる。

6) 手続きを完全に自動化することはできないが、任意の河道区間、表流水取水位置における病原微生物濃度や任意の地域の水

道水飲用による感染リスクを、GISを利用して一連の手続きとして計算し、地域の脆弱性を示すリスクマップとして表示できることを示した。また、大まかな地域別の気候変動時の流況の変化を考慮に加えることで、気候変動前後の病原微生物濃度や水道水飲用による感染リスクマップを作成できることを示した。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 松井佳彦. パイロットプラントを用いた高塩基度 PAC の濁度除去性およびアルミニウムの残留性に関する評価, 水道協会雑誌, 918, 2-12, 2011. (査読あり)
- 2) 小坂浩司, 鈴木克徳. 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, 水環境学会誌, 34(8), 232-235, 2011.

##### 2. 学会発表

- 1) Kobayashi Y., Itoh M., Yamada T., Akiba M. and Matsui Y. Experimental evaluations of water treatment system as adaptations to a sharp increase in raw-water turbidity caused by climate change, using a pilot-scale plant, Proc. the 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition, 464, 2011.
- 2) 柳橋泰生. ダム貯水池における水質の長期変動の解析, 環境衛生工学研究, 25(3), 124-127, 2011.

#### 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

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

平成23年度 分担研究報告書

平成24年3月

分担研究報告書 1

## 気候変動による水道システムへの影響と適応策の整理

研究代表者 秋葉 道宏  
研究分担者 国包 章一、山田 俊郎、  
小坂 浩司  
研究協力者 芦田 裕志、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）  
「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」  
分担研究報告書

研究課題：気候変動による水道システムへの影響と適応策の整理

研究代表者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院	統括研究官
研究分担者	国包 章一	静岡県立大学環境科学研究所	教授
	山田 俊郎	岐阜大学工学部社会基盤工学科	准教授
	小坂 浩司	国立保健医療科学院生活環境研究部	主任研究官
研究協力者	芦田 裕志	東京都水道局総務部	施設計画課長
	岸田 直裕	国立保健医療科学院生活環境研究部	主任研究官

研究要旨

国内外の水道事業者による気候変動に対する取り組み状況について、文献を収集し取りまとめた。国外としては、米国、オーストラリア、フィリピン、ザンビアを国内としては東京都水道局を採り上げた。気候変動による影響として検討している項目（豪雨、渇水、藻類増殖等）は類似している場合が多かったが、取り組み内容については水道事業者によって類似している場合もあったが、そうでない場合もあった。また、文献調査から豪雨や渇水などにより小規模水道で発生した危害事例を整理した。現地ヒアリングを実施し、島嶼地区および中山間地域での小規模水道を対象に、管理状況と課題を把握した。

A. 研究目的

気候変動による水資源への影響として、これまで気温の上昇にともなう豪雨の頻発や、降雨量、積雪量の減少などの様々な気象の変化等が報告されている。水道事業者での対応は、短期的な事象に対する対策が中心であるため、これら気候変動の影響と考えられる事象のうち、幾つかについてはこれまでの対策あるいはその改善によって対応可能であると考えられる。一方、長期的な気候変動に対し、自らの水道システムがどのように影響を受ける可能性があるかについて、脆弱性評価を行い、長期的な対策の検討も重要であると考えられる。

気候変動によって同様の影響が考えられたとしても、その適した対策は、地域によって異なると考えられるが、既に、事業者によって検討されていた場合、他事業者への参考となる可能性が考えられる。本研究では、気候変動による長期的な影響を評価し、水道システムでの対応を検討している事例について整理を行った。さらに、小規模水道にも着目し、小規模水道で気候変動によりどのような影響が起こりうるか過去の事例から整理するとともに、中山間地域の小規模水道、島嶼地区における小規模水道を対象として現地ヒアリングを実施し、管理の実態把握と課題を明らかにすることを目的としている。

B. 研究方法

(1) 水道事業者における気候変動への対応に関する文献調査

国内外の文献等を収集し、水道事業者が想定している気候変動の影響とそれへの対策について取りまとめた。このとき、米国、その他の地域、日本に分類して整理した。

(2) 小規模水道における気候変動がもたらす事象にともなう危害事例とその対応に関する検討

中山間地域や島嶼地区で利用されている小規模水道を対象に、気候変動によって生じうる危害事象につき文献等の調査を行った。また、中山間地域および島嶼地区の専用水道などの小規模水道を対象として、特に渇水時、豪雨時、雪害の発生時等における水道水質管理の実態と危機管理体制について現地ヒアリングを実施し、これまでの事例、現在の管理の状況、異常気象時における管理体制などにつき実態を把握し、小規模水道の監視・管理の課題につき検討を行った。豪雨などの被害を受けやすい島嶼地区として、沖縄県石垣市および宮古島市における専用水道を対象として、平成23年11月下旬に現地で視察およびヒアリングを実施し、日常管理体制や異常時の対応、過去の異常気象時の対応についての調査を行った。調査項目は、危害発生予防の観点から日常的な管理・対応に関するものとして、a. 保健所・環境監視員との連携、b. 水質検査の実施、c. 安全確保のための取り組みとし、危害拡大防止の観点から非常時の管理・対応に関するものとして、d. 非常時体制、e. 過去の非常事態の経験、f. 非常時における対応である。さらに、g. 気候変動による想定される危害とその対応、h. 将来的に想定される課題、についても調査を行った。

非常時において被害を受けやすい中山間地域として、過去に雪害によって水道施設に大きな損害が発生した松江市簡易水道を対象として、平成23年6月に現地視察およびヒアリングを実施し、雪害発生時の水道施設への被害の実態やその対応方法、課題について調査を行った。

### C. 研究結果およびD. 考察

(1) 水道事業体における気候変動への対応に関する文献調査

#### 1) 米国<sup>1)</sup>

米国環境保護庁 (USEPA) は、東湾公益事業区 (EBMUD)、ニューヨーク市環境保護局 (NYDEP)、シアトル公共事業局 (SPU)、スパータンバーグ水道の4水道事業体を対象に、気候変動に対する影響の評価とその適応策について報告している<sup>1)</sup>。表1に、各事業体の特性について示す。

#### ①EBMUD

EBMUD は、水供給管理プログラム (WSMP) 2040 を策定し、この中で、2040年を目標年次とした、渇水年における水需要を満たすための諸プロジェクトを提案しているが、その取りまとめにおいて、関連施策を分析している。気候変動モデルを用いて、複数のシナリオについて将来予測を行っている。水量に関しては、需要量の増加、降雨流出時間の変化、年降水量の減少、水質に関しては水源における富栄養化にともなう藻類増殖などについて検討している。

#### 気候変動の予測

EBMUD では、気候変動の将来予測として以下の項目を挙げている。

- ・気温の上昇 (21世紀末までに+2.0~7.5°C)
- ・雪塊の減少、雪解け時期が早まる
- ・降水量の変化 (±20%)
- ・海水面の上昇 (21世紀末までに+18~58 cm)

#### 水道システムへの影響の評価

EBMUD では、気候変動による水道システムへの影響として以下の項目を挙げている。

- ・洪水と海水面の上昇 (河川洪水を防止するため、貯水池からの最大放水量は1997年の3倍増)
- ・沿岸部での洪水 (海水面の上昇による)
- ・水力発電量の減少 (一時的な豪雨や洪水は増加するが降水量は減少するため)
- ・給水量の減少 (渇水時の予測需要量の方が給水可能量より大きくなるため)
- ・降雨流出タイミングの変化
- ・年降水量の減少
- ・水需要量の増加 (気温の上昇により飲料水量や屋外での使用量が増加するため)
- ・水温の上昇による藻類が増加する可能性が上昇

- ・濁度の上昇 (豪雨の増加により)

#### 適応策

EBMUD では、気候変動による各影響への適応策として以下のように検討している。

- ・一時的な降雨パターンの変化にともなう影響  
水道システムの運転管理を調整
- ・降水量の減少にともなう影響  
代替水源の確保の検討
- ・渇水  
節水、淡水化、貯水池容量の増加

#### ②NYDEP

NYDEP では、気候変動へのニューヨーク市委員会において、2080年までの気温上昇などに関する将来予測結果に基づいて、豪雨時における原水濁度の上昇、需要と供給の不均衡などについて検討を行っている。

#### 気候変動の予測

NYDEP では、表2に示すように、気温、降水量等に対する将来予測を行っている。

#### 水道システムへの影響の評価

NYDEP では、大気大循環モデル (GCM) を活用して、水道システムの一部を評価し、続いて水道システム全体への適用を検討している。このとき、総水量、補給可能性、減少可能性、重要地点での濁度、アルミニウム使用量の変動、貯水池でのリンおよびクロロフィルの濃度、富栄養化による水使用制限等について評価を実施している。

#### a. 気温の変化にともなう影響

- ・水質の悪化 (生物学的、化学的影響によるもの)
- ・水需要の増加 (生長期の長期化によるもの)
- ・雪塊の減少 (春における貯水池への流入量の減少)
- ・小河川での生態系の変化 (水温上昇による、これにより取水量が制限され、水需要が増加)
- ・排水処理での生物学的、化学的反応への悪影響 (水温上昇による)

#### b. 降水量の変化にともなう影響

- ・平均貯水量の減少
- ・濁度上昇
- ・栄養塩排出量の増加
- ・富栄養化
- ・異臭味問題
- ・貯水池での病原微生物と寄生虫の排出量の増加
- ・下水の洪水と合流式下水道越流水 (CSO) の増加の可能性

#### c. 海面上昇にともなう影響

- ・ハドソン川への塩の侵入
- ・下水への海水の侵入の可能性
- ・排水処理施設の処理性能の低下(排水放流を重力のみによってしていた場合)
- ・CSO のリスクの増加
- ・高度が低い位置にあるインフラや排水処理施設の海岸での洪水リスクの増加

### 適応策

NYDEP では、気候変動による各影響への適応策として以下のように検討している。

- ・濁度の低減  
キャットスキルとデラウェア導水管を連結し、ろ過システムを導入
- ・洪水の最小化  
下水管の洗浄頻度の増加、排水ますの維持  
グリーンルーフや排水再利用の促進
- ・水の需給のアンバランスの最小化(気温上昇による水需要量の増加)  
施設の改善(水圧問題と漏水の減少、小規模の節水対策)  
節水対策(教育、メータ化、使用制限、漏水探知、磁気性の鍵をつけた消火栓、割り戻し)  
代替水源の確保の検討
- ・CSO の低減  
排水処理容量を増加  
貯蔵タンクの追加設置  
下水インフラの最適化  
分留式下水道計画
- ・洪水リスクへの適応  
貯水池を貯水と河川洪水管理の両面で使用  
主要機器に防水ドアを設置  
水中ポンプへの変更  
重要施設の周辺に保護バリア(護岸、砂丘、潮汐ゲート)の設置  
貯水池管理プログラムの策定(雪塊対応)

### ③SPU

SPU では、2080 年までの気温上昇などに関する将来予測結果(表 3)に基づいて、複数シナリオに対して、水源水量、需要量、豪雨と降雨流出等について検討している。

### 気候変動の予測

SPU では、気候変動モデルと温室効果ガス排出モデルを組み合わせて、以下のように予測を行っている。

- ・気温上昇率の増加(0.5°F/10 年、20 世紀の 3 倍)
- ・年ごと、10 年ごとの降水量の変動の増加
- ・冬季の降水量の増加と夏季の降水量の低下

### 水道システムへの影響の評価

SPU では、気候変動による水道システムへの影

響として以下の項目を挙げている。

- ・水需要  
2050 年までは過去のレベルより低下するが、2075 年までに過去のレベルより増加
- ・降雨流出  
洪水は増加

### 適応策

SPU では、気候変動による各影響への適応策として以下のように検討している。

(これまで実施してきたこと)

- ・有効貯水の効率的利用についての検討
- ・節水プログラム

(今後検討していくこと)

- ・水道システムの改善(複数段階を想定して検討)  
段階 1: 新たなインフラなしに有効水量を増やすための低コスト(コストなし)のシステム改善  
段階 2: ヤング湖貯水池の追加的使用、連結使用運転の改善/最適化、追加的な節水プログラム  
段階 3、4、5: 貯水池の運用の変更から代替水道システム等  
また、脆弱性評価の結果、短期的な運用改善や新たなインフラの建設は必要ないとの結論付けている(2075 年までで段階 2 を超えることはない)。
- ・豪雨と洪水  
新たなインフラの建設(気候変動に基づく耐用年数を考慮して検討)

### ④スパータンバーグ水道

スパータンバーグ水道では、気候変動の影響として水量、水質の変化の可能性について検討している。

### 気候変動の予測

スパータンバーグ水道では、気候変動の予測として、渇水および沿岸部の豪雨の増加を挙げている。

### 水道システムへの影響の評価

スパータンバーグ水道では、気候変動による水道システムへの影響として以下の項目を挙げている。

#### a. 水量への影響

- ・人口増による水需要の増加
- ・都市化により不浸透面が増加し、その結果、貯水池に流入しにくくなり、貯水量が低下
- ・渇水により、表流量および地下水量が低下
- ・排水処理への影響(流量に占める排水の割合は



80%以下と規定されているが、将来、小川では守れなくなる可能性がある)

#### b. 水質への影響

- ・洪水とそれにとまなう水道施設の被害
- ・水質悪化(不浸透面の増加により、流出水中に底泥、汚染物質、油、グリース等の量が増えるため)
- ・異臭味問題(ジェオスミンの増加)

#### c. その他

- ・暴風雨の増加による、イベント時の排水システムへの流入量の増加

### 適応策

スパータンバーク水道では、気候変動への適応策として以下の項目を挙げている。このとき新たな挑戦よりは、既存の脆弱性の管理強化による対応を検討している。

- ・価格構成(ブロック価格の高騰にとまなう)による節水対策(水使用量の低下)
- ・ブレイロック貯水池の容量を2倍に増加
- ・貯水池のレクリエーション活動用の使用を制限
- ・水需要管理計画の改訂
- ・節水の強化と産業用水量の削減
- ・オフラインの受水槽の設置や配水管の改良(節水により配水システムでの水量が増加し、その結果、配水システムでの滞留時間が増えたため)
- ・排水システムの更新(再生水量の増加と排水許可要件の遵守)
- ・排水システムの配管更新による集水機能の強化

## 2) 他の諸外国

### ①オーストラリア

オーストラリアの南オーストラリア水道会社では藻類増殖への適応策について<sup>2)</sup>、メルボルン水道では、水源林の火災や淡水化の増加による影響について報告している<sup>3)</sup>。また、渇水による適応策についても報告<sup>4)</sup>されている他、適応策までは示されていないが、気候変動による影響が報告されている<sup>4,5)</sup>。

#### ・渇水<sup>4)</sup>

ダム出口での紫外線処理の改良  
貯水池の購入と囲い  
代替水源(淡水化、再利用)

#### ・藻類増殖<sup>2)</sup>

川からより低い位置から取水できるようにポンプの設置  
藻類除去ができるように浄水場を計画  
薬品備蓄量の増加と職員の訓練  
藻類管理のための研究  
夏季における空からの河川調査(藻類増殖箇所

の早期特定)

- ・降雨後の水質問題、侵食、灰の飛散(水源林での火事)<sup>3)</sup>

沈殿池の設置

粉末活性炭による除去

- ・淡水化の増加による影響(臭素系副生成物、ホウ素、他の水源との混合による土壌の分散、溶解性沈殿物、味等)<sup>3)</sup>
- ・塩や汚染物質の侵入<sup>4)</sup>
- ・病原微生物リスクの増加<sup>4,5)</sup>

### ②マニラッド水道(フィリピン)<sup>6)</sup>

フィリピンのマニラッド水道では、気候変動による影響として洪水と渇水を挙げ、渇水への適応策として以下の項目を挙げている。

- ・渇水にとまなう水質悪化

マンガン処理施設の設置の必要

原水を用いた凝集剤、凝集補助剤の最適注入率の検討

前塩素処理施設の設置

塩素処理と過マンガン処理工程の組み合わせ

配管の洗浄

水質モニタリング箇所の増加

### ③カニャマ水道(ザンビア、ルサカ)<sup>7)</sup>

ザンビアのルサカにあるカニャマ水道では、気候変動による影響として洪水と渇水を挙げ、その適応策について検討している。

- ・洪水、流出水の増加

地域での教育(洪水時の衛生、洪水に耐えられるトイレ)

ボアホールの衛生対策

洪水時の飲料水への塩素注入

無収水の削減

洪水時の水質検査と施設点検の強化

排水システムの改善

固形廃棄物や汚泥収集の改善

- ・渇水

手ごろな価格での飲料水の確保

未供給地域へのキオスクネットワークの拡大

代替飲料水供給の検討

渇水時の健康リスクについての地域教育

ネットワーク拡大への支援

貯水槽の追加設置

水配分のやりとりへの関与

### 3) 日本<sup>8)</sup>

国内では、東京都水道局が、平成19年に東京都水道局気候変動影響検討委員会を設置し、水道事業への影響について検討を開始している。

### 気候変動による影響の評価

水道事業における気候変動の影響を把握する

ため、降水量、気温、積雪、河川流量、ダム諸量について、過去の観測データの収集と整理を行い経年変化、出現頻度、出現強度等の傾向分析を行った。一方、地域気候モデル(RCM20)により、気候の将来予測(50~100年後程度)を行い、過去の傾向分析を組み合わせ、将来的な傾向分析の予測を行った。

そして、各指標の将来予測値に対して、水道事業に与える影響について検討した。その結果、渇水リスクが最も懸念されるリスクであると予測し、降水量、気温、積雪、河川流量の変化に対する渇水リスクへの影響について整理している(表4)。

## 適応策

東京都水道局では、気候変動への適応策として、以下の項目を挙げている。これらの項目の中には、必ずしも気候変動を目的として実施してはいるが、結果的にその適応策につながっているものもある。また、その一部は、緩和策と考えられるものもある。加えて、今後の施設更新(浄水場の高地への配置、配水池の地上化等)に対しても、気候変動への対応を検討している。

- ・水道水源林の保全管理
- ・再生可能利用エネルギーの使用促進
- ・漏水防止対策の推進

(2) 小規模水道における気候変動がもたらす事象にともなう危害事例とその対応に関する検討

### 1) 小規模水道における危害事例

平成9年から平成18年までに国内で発生した飲料水にかかる健康危機事例で厚労省に報告された事例(『飲料水に係る健康危機の適正管理手法の開発に関する研究 総括・分担研究報告書』収録付表)のうち、小規模水道において降雨や気象条件の変化が一因と考えられるものとして、大雨による配水管破損にともなう給水停止事例(平成10年6月、簡易水道、4世帯に影響)、集中豪雨による特殊肥料施設からの汚泥流出による原水汚染による給水停止事例(平成10年9月、簡易水道(急速ろ過方式)、約400世帯に影響)、大雨にともなう濁水発生による取水停止事例(平成16年7月、簡易水道(急速ろ過方式)、影響不明)、降雨による原水色度上昇による凝集不良等が原因と考えられる給水栓でのアルミニウムおよびクロロホルム基準値超過事例(平成17年7月、簡易水道(急速ろ過方式)、給水制限なし)、降雨後の原水色度上昇にともなう浄水処理不能による給水停止事例(平成17年8月、簡易水道(急速ろ過方式)、390人に影響)、大雨による湧水量増加による残留塩素不足・飲用制限事例(平成18年10月、簡易水道(塩素消毒のみ)、254人に影響)、台風による海水の吹き上げにともなう塩化物イオ

ン濃度の基準超過事例(平成18年9月、簡易水道(急速ろ過方式)、代替水源が利用可能な地区のみ代替水源で対応)、大雨にともなう浄水濁度上昇による飲用制限(平成19年9月、簡易水道(急速ろ過方式)、160人に影響)があった。大雨等による施設への直接的被害や原水の濁度および色度上昇にともなう処理不全が目立ち、それらは主に表流水に水源とする場所で生じている。これまで、降雨による原水濁度上昇にともなう断水事例としては、平成19年北見市において水源の常呂川の高濁による断水発生で約5万7千世帯に影響した事例のほか、平成23年8月にも、新潟県三条市や松本市において大雨によって河川水質が悪化し、取水停止による断水が市内全域に生じてそれぞれ約1万世帯、約2千世帯に影響が及んだ事例等多く見られる。一方、平成23年8月の豪雨で簡易水道の水源である井戸水に濁りが生じて取水停止・飲用制限となった事例もあり、水源を井戸水としている場合においても、一定以上の豪雨になると水源に影響が生じることを想定した備えが必要であると考えられる。

未規制小規模施設における健康被害事例(『飲料水に係る健康危機の適正管理手法の開発に関する研究 平成19年度総括・分担研究報告書』表8)のうち、降雨などが一因とされる飲料水による健康被害発生事例として、飲食店でのカンピロバクターによる被害事例(昭和63年、飲用井戸、降雨による汚水の流入、滅菌装置の未設置、833人に影響)など、降雨による汚水の混入が一因とされるケースが複数件あった。また1970年代から2002年までの過去30年間の国内外の先進国で発生した飲料水を介した水系感染症流行事例(『Safe Drinking Water』、Hrudey *et al.*、2004)の69件のうち、約8割に相当する59件で水源汚染が原因とされ、特に降雨によって流域から発生した汚染原因物質を含む濁水や汚染水等の流入が指摘されたものが26件と半数近くあった。日常的には問題のない水源を利用している場合においても、豪雨等による水源汚染を想定した措置や対策の必要性があるといえる。

2) 小規模水道における渇水・豪雨時の水道水質管理の実態と管理体制

### ① 島嶼地区の水道における異常気象時の水道水質管理の対応と課題

沖縄県内島嶼地区にある2つの専用水道の管理者を対象に異常気象にともなう水道に関する危機事象に関するヒアリング調査を実施した結果を以下に示す。

#### ア. 専用水道Aの調査結果

対象は、地下水を原水とした、膜処理(逆浸透)方式の専用水道である。調査結果は以下のとおり。

#### a. 保健所・環境監視員との連携

専用水道管理者と管轄保健所の担当者間で

日常的に連絡できる状況にある。これまで台風による停電が発生したときなどに連携した実績がある。

b. 水質検査の実施

必要な項目を全て実施している。

c. 安全確保のための取り組み等

法に基づき、受水槽などの点検を実施している。また、水質の分析結果はホームページにおいて公開している。

d. 非常時の体制

24時間体制で常時監視・対応できる状況にある。処理設備の非常時には設置業者(メーカー)が対応する。

e. 過去の非常事態の経験等

水質が安定した地下水を利用しており、これまでに豪雨時や渇水期においても特に問題はない。台風にとまなう停電が発生した場合は自家発電装置により対応でき、これまでに同じ島内で断水があった時においても、特に問題は発生していない。

f. 非常時における対応

これまでに水供給上の異常の発生は無かったが、万一の場合は上水道からの供給をうけられるようにしている。

g. 気候変動による想定される危害とその対応

設置以来、10年以上にわたって水量および水質ともに安定した供給を行っており、将来的に気候変動による影響はないと考えられる。

h. 将来的に想定される課題

特になし。

イ. 専用水道Bの調査結果

対象は、地下水を原水とした膜処理(逆浸透)方式の専用水道である。調査結果は以下のとおり。

a. 保健所・環境監視員との連携

専用水道管理者と管轄保健所の担当者との間で日常的に連絡できる状況にあるが、これまでに連携した実績はない。

b. 水質検査の実施

必要とされる項目を全て実施している。水質検査は採水したものを本島に送り、法定機関で分析を行う。

c. 安全確保のための取り組み等

これまでに問題が発生しておらず、特になし。

d. 非常時の体制

特に明確なものはない。万一問題が発生した場合は、事業体内で対応する。

e. 過去の非常事態の経験等

過去に台風により停電が発生したことがあり、自家発電装置で対応した。

f. 非常時における対応

電源喪失が生じるリスクであり、自家発電装置で対応できるようにしている。地下水を原水としており、これまでに渇水時においても安定した

水量が得られているため、他には特に問題がない。

g. 気候変動による想定される危害とその対応

特になしとえられる。

h. 将来的に想定される課題

特になし。

以上の結果、調査対象の小規模水道は全てその水源として地下水を利用していることが示された。水量、水質とも安定かつ良好な状態のため、暴風雨時や小雨による渇水時においても断水等の被害は発生していなかった(同じ島内で表流水を水源とする上水道では渇水による断水被害が発生した。)。過去に経験した障害の原因は暴風時の停電であり、島嶼地区においては電源確保が重要であるとの認識であった。いずれの施設においても、自家発電装置が用意され、過去停電時にも活用された。保健所・環境監視員との連絡体制は、担当者レベルで構築されていたが、マニュアル等は見られなかった。

②中山間地区小規模水道における非常時の水道施設の管理実態とその課題-松江市の雪害を例として-

表5に示すとおり、平成22年12月31日から平成23年1月1日にかけて、島根県松江市において記録的な大雪が発生し、それにとまなう、大規模な停電や断水被害が生じた<sup>9)</sup>。また、一部の地区では、積雪に加え倒木が発生したことによって道路が遮断され、孤立集落と化した。図1に断水被害の詳細を示すが、松江市内の多くの地区で断水被害が発生し、孤立集落と化した一部の地区でも断水被害が発生した。雪害によってポンプの修繕や除雪費用が必要となり、上水道施設で約56万円、簡易水道施設で約5,800万円の被害額が発生した。断水の主な原因は、停電による送水・加圧給水ポンプの停止によるものである。小規模かつ分散して存在している全ての簡易水道施設において、自家発電設備を導入することは困難であり、簡易水道施設を有する他の中山間地区においても、停電にとまなう大規模な断水被害が発生しうると推測された。

雪害発生時の対応としては、松江市水道局によって、断水区域において給水車による応急給水や給水袋の配布が行われた。また、一部の地区では消防団等による自主的な給水活動も実施され、中山間地域における住民同士の結びつきの重要性が確認された。一方、孤立期間と断水期間が重なった軽尾地区においては、約3日間の断水期間中、応急給水活動を行うことはできなかった。この地区は地域防災計画において大雪による孤立集落化が予想されている地区であったが、事前に飲料水を備蓄していない家庭もあり、隣家から提供された飲料水、井戸水、雪を溶かして作った水等を飲料水として利用していた。これらの水が飲料水として適した水質であったかどうかは不明であ

る。また、断水に関する情報提供は、主に防災無線を利用して行われたが、防災無線からの一方的な情報伝達では住民の不安を解消することが困難であった。これらの対応は、松江市水道局が中心になって行われ、保健所等他機関との連携があまり図られなかったことは課題の一つであるといえる。

雪害後の対応としては、停電による断水被害を軽減するために、発電車が導入された。また、電力会社が水道施設の場所を把握しておらず、復電が計画的に行われなかったことが被害を拡大させた要因の1つであったことから、雪害以降、電力会社と情報共有を図る機会を増やし、関係を強化させている。また孤立が予想される地区に衛生携帯電話を配備することで、情報伝達の問題の解決に努めている。さらに水道局においても除雪機を購入する等の対応も行っている。このような取り組みは、他の中山間地域においても断水被害を軽減するために必要であると考えられる。

#### E. 結論

- (1) 国内外の水道事業者による気候変動に対する取り組み状況について、整理したところ、検討している項目(豪雨、濁水、藻類増殖等)は類似している場合が多かった。一方、取り組み内容については水道事業者によって類似している場合もあったがそうでない場合もあった。
- (2) これまでの厚労省などへの報告や文献から、簡易水道や専用水道等の小規模水道において、濁水時のみならず、豪雨による濁水による断水が生じる事例が見られた。海外では降雨時に農地等から病原微生物が水源へ流出することによる健康被害事例が発生しており、良質な水源水質に依存しろ過などの浄水処理プロセスを有していない水道システムの場合は、水源監視の必要性が高いといえる。

沖縄県の島嶼地区における上水道および専用水道を対象として、また中山間地域の小規模水道例として島根県の松江市簡易水道を対象とし、水源や水道施設の日常的な管理状況、危害発生時における衛生部局との連携体制などの管理体制、濁水時、豪雨時、雪害発生時における管理体制および過去の経験等について現地ヒアリングを実施した。今回の調査対象島嶼地区において、近年濁水による断水等の危害事例は発生していないものの、限られた水源に依存している実態があり、原水調整池や地下ダムなど水源確保のための取り組みが行われていた。離島における異常気象時の危害事象として台風等豪雨時における停電が想定されており、自家発電施設とその非常時の運用体制などは想定されていた。一方、中山間地域における簡易水道施設においては、自家発電施設を有していない施設が多く、大規模な断水を回避

するためには、電力会社との関係を強化し、情報共有を図ることが重要であると考えられた。島嶼地区、中山間地域ともに、非常時に事業者と保健所など衛生部局との連携体制が明確に整備されているところはなく、担当者間レベルにとどまっております。水道事業者と衛生部局との連携の整備が課題として示唆された。

#### F. 健康危険情報 該当なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 小坂浩司, 鈴木克徳. 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, 水環境学会誌, 34(8), 232-235, 2011.

##### 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) USEPA. Climate Change Vulnerability Assessments: Four Case Studies of Water Utility Practices (UPA/600/R-10/077A), 2010 (External Review Draft).
- 2) Lourens A., Howard J. and Mosisch T. The driest state in the driest inhabited continent - toxic algal blooms, acid sulphate soils and droughts. IWA-WHO Water Safety Conference 2010, 2010.
- 3) Jayaratne A. Droughts, fires and other impacts of climate change - outcomes of a recent WHO review of climate change and WSPs. IWA-WHO Water Safety Conference 2010, 2010.
- 4) Walker R. Water Safety Plans in a drying climate Richard Walker. IWA-WHO Water Safety Conference 2010, 2010.
- 5) Cunliffe D. Naegleria, Legionella and other pathogens that may become more problematic. IWA-WHO Water Safety Conference 2010, 2010.
- 6) Arellano F. A. Impacts of extended drought on water quality and operations of Maynilad water. IWA-WHO Water Safety Conference 2010,