

201036012A

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22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23(2011)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. 水安全計画を活用した気候変動に係わる	
水道システムへの危害と対応の評価	19
秋葉 道宏、国包 章一、山田 俊郎、小坂 浩司	
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)	29
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	41
藤本 尚志	
4. 浄水場における高濁度原水流入時の浄水処理に関する検討	65
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を利用したリスクマップ作成における空間情報の課題—	85
増田 貴則	
III. 研究成果の刊行物・別刷	111

研究班の構成

研究代表者

国立保健医療科学院水道工学部長 秋 葉 道 宏

研究分担者

国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長 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

福岡女子大学教授 柳 橋 泰 生

岐阜大学工学部社会基盤工学学科准教授 山 田 俊 郎

国立保健医療科学院水道工学部主任研究官 小 坂 浩 司

研究協力者

東京都水道局総務部施設計画課長 青 木 秀 幸

国立保健医療科学院水道工学部研究員 岸 田 直 裕

国立保健医療科学院水道工学部研究生 今 野 祥 顕

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

桐生市水道局水質センター主査 矢 島 修

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22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23年3月

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水道工学部長

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。今年度は、気候変動による水道システムへの危害・危害原因事象とその対応の整理、水源貯水池における濁水発生時の水質データ解析と対応の整理、水源貯水池で増殖が懸念される浄水処理障害生物の水源貯水池および浄水プロセスでの挙動解析、実浄水場での高濁度対策の調査、気候変動時の流量低減・渇水を考慮した原水の微生物汚染リスクをリスクマップとして表示するGIS上の手続き手法の開発を行った。水安全計画における気候変動に関連した危害事象は、豪雨による濁度などの上昇や取水上の問題の生起、渇水による水源水量の減少や水質の悪化、その他水温上昇とそれに伴う富栄養化の進行並びに藻類の異常増殖などであった。これらの危害事象に関する各事業体のリスク評価結果は総じてさほど高くないが、豪雨時におけるクリプトスピリジウムによる汚染に関しては、高いリスクレベルを設定している事業体もあった。水資源機構が管理する20のダム貯水池の気温、水温、富栄養化関連項目についてトレンド解析を行ったところ、共通して上昇あるいは低下しているなどの一定の長期的変動の傾向は認められなかった。国土交通省が管理する全国27のダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した結果、16年間で水温が平均1℃以上上昇したダム貯水池は、19ヶ所と7割を超え、3℃以上変化したダム貯水池も2ヶ所あった。ダム貯水池の放流水濁水および貯水池濁水の発生との関係を検討した結果、出水量と放流水の濁水発生の有無には一定の関係があることが認められ、大きな出水の場合に放流水濁水が発生し、その目安となる出水量を設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、ほぼ線形の関係が認められた。分子生物学的手法により草木湖の真核ピコ植物プランクトンの群集構造を解析した結果、年間を通じて高い割合を占めるクリプト藻綱に近縁な種が主要な真核ピコ植物プランクトンであることが示唆された。草木湖で検出されたクリプト藻綱に近縁なクローンは、貧栄養湖、貧・中栄養湖に一般的に出現するクリプト藻綱と考えられた。草木湖を水源とする浄水場において原水、沈殿水、ろ過水について同様に検討したところ、ろ過水で多く検出される藻類種が原水における優占種と異なり、ピコ植物プランクトンの種類の違いによって凝集沈殿・砂ろ過における処理特性が異なることが示唆された。相模湖、宮ヶ瀬湖における主要なピコプランクトンはピコシアノバクテリアであることが明らかとなった。草木湖、相模湖、宮ヶ瀬湖において分子生物

学的手法によりピコシアノバクテリアの群集構造について解析したところ、水域ごとに優占種が異なることが示唆された。対象とした3浄水場のいずれの場合も対応可能濁度を設定しており、高濁度流入時に浄水処理機能不全に陥らない対策を持っていた。高濁度処理に関するデータ解析には重回帰分析を用い、濁度上昇時、下降時などの水質変動パターンごとに分析したところ、PAC注入率に関しては、原水濁度の影響を強く受けるため、ほぼ原水濁度の傾向だけで注入率を決定する事が可能であると考えられた。沈殿処理水濁度は、原水濁度、処理量、混和池pH、PAC注入率との相関を検討すれば、ある程度の予測が可能であった。また、ろ過水濁度については、予測が可能といえる程度の結果は出なかった。河川流路や流域界などの図形情報と観測流量統計、利水情報に、分流量の情報を加えることで、任意の河道区間の流量を精度良く再現できることを示した。人口、畜産、污水处理施設に関する統計情報・地図情報を用い、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をGISを利用した一連の手続きとして計算し、リスクマップとして表示できることを示した。将来的には、気候変動時の流量低減・渇水を考慮することによって、気候変動時のリスクマップを作成できることを示した。

分担研究者： 伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長
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水道工学部主任研究官

研究協力者： 青木 秀幸 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水道工学部研究員
今野 祥顕 国立保健医療科学院水道工学部研究生
田中 和明 川崎市上下水道局
藤瀬 大輝 川崎市上下水道局水管理センター
矢島 修 桐生市水道局水質センター主査
吉口 進朗 独立行政法人水資源機構環境室水環境課長

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、気候変動に伴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伴に、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いえる。

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と、浄水処理等に与える影響および浄水処理における有効な対応策を明らかにする。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. 水安全計画を活用した気候変動に係わる水道システムへの危害と対応の評価

水安全計画を既に策定している国内の 11 水道事業者から、策定した水安全計画を入手した。それぞれの水安全計画の中で取り上げている気候変動に関連した水道システムへの危害と、それらに対する対応策などについて情報を整理した。

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)

水資源機構が管理している 51 施設のうち、長期的にデータが蓄積されている 20 のダム貯水池の定期調査結果を用い、水温および富栄養化関連項目について、長期的な変動の傾向の解析を行った。また、国土交通省管理のダム貯水池を対象に、ダム諸量データベースのデータを用い、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について解析を行った。水資源機構が管理しているダムのうち、水質年報に濁水長期化の記録がある全てのダム貯水池を対象に、降水量、降水強度、流入水流量と濁水長期化の関係について解析を行った。

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

2009 年 6 月～2011 年 2 月、群馬県草木ダム、宮ヶ瀬湖、相模湖の湖水、およびこれらを水源としている浄水場の工程水を採取し、真核ピコプランクトン、ピコシアノバクテリアの群集構造について分子生物学的手法により解析を行った。

4. 浄水場における高濁度原水流入時の浄水処理に関する検討

河川表流水を原水とする規模の異なる 3 浄水場のデータを収集し、高濁度対策の実態を調査するとともに、水質・運転データから適切な水質管理のための因子について検討した。

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 を利用したリスクマップ作成における空間情報の課題—

GIS において比較的容易に管理可能で一般に入手可能な流域情報や河道などの地図情報や統計情報を組み合わせ、河川表流水の病原微生物による汚染リスク、およびその水を水道原水とした場合の水道飲料水による感染リスクを計算し、リスクマップとして表示する GIS を活用した手続き手法を検討した。これらの検討を通じて、それらの手続きにおけるデータや手続き上の問題点を明らかにするとともに、情報の空間精度や集計精度が表流水の水量・水質などの評価結果に与える影響について検討した。

(倫理面への配慮)

人体試料を用いた実験や動物実験等、倫理上問題となるような実験や調査は行っていない。

C. 結果と考察

1. 水安全計画を活用した気候変動に係わる水道システムへの危害と対応の評価

各水安全計画において、気候変動に関連した危害事象として、豪雨による濁度などの上昇や取水上の問題の生起、渇水による水源水量の減少や水質の悪化、その他水温上昇とそれに伴う富栄養化の進行並びに藻類の異常増殖などが挙げられていた。危害数の算出の仕方は、各事業体によって異なっていたが、割合で見ると、気候変動に関連する平均割合は12%(最大約20%程度)であった。11事業体中、7事業体について、気候変動に関連する水道システムへの危害のうち、「豪雨」「渇水」について、関連する水質項目、求められる管理対応措置などを具体的に示すとともに、その発生頻度、影響程度およびリスクレベルについて評価した。豪雨に対するリスクレベルは、半数以上がレベル1(通常の管理を継続する)となっており、豪雨に対する危害発生場所は、99%が水源から浄水場までとなっていた。渇水に対するリスクレベルは、75%がレベル1で、渇水に対する危害発生場所は、全てが水源から浄水場までであった。豪雨と渇水で比較すると、いずれにおいても、通常の管理で対応ができるものが大半を占めていたが、渇水に比べ豪雨の方が、取水停止や管理強化など大々的の対応を要する割合が高かった。また、豪雨、渇水のいずれの場合も、高いリスクレベルを設定している危害は、クリプトスポリジウムによる汚染に関してであった。監視項目については、豪雨の場合、「濁度」、「トリハロメタン」、「有機物(TOC)」、「耐塩素性病原生物」、「臭気」、「残留塩素」を設定している水道事業体が多かった。一方、渇水の場合、「有機物(TOC)」、「pH」、「トリハロメタン」、「ジェオスミン、2-MIBのカビ臭物質」などを監視項目に設定している水道事業体が多かった。今回の調査対象の全水道事業体において、気候変動時における危害に対する監視項目について、「監視地点」、「監視方法」、監視の結果を評価するための「管理基準」を設定していたが、監視方法や管理基準、管理基準を逸脱した場合の具体的な対応は、各事業体によって異なっていた。また、気候変動によって抽出している監視項目の中には、対応マニュアルが作成されていない場合もあったが、こ

の理由の一つとして、リスクレベルに応じた対応マニュアルの作成や、具体的な対応は他のマニュアル(支援プログラム)を活用している場合があることが考えられた。

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)

水資源機構が管理する 20 のダム貯水池の気温、水温、富栄養化関連項目について、Seasonal Mann-Kendall の方法を用いてトレンド解析を行ったところ、個々のダム貯水池では上昇や低下の傾向は示されたが、共通して上昇あるいは低下しているなどの一定の長期的変動の傾向は認められなかった。国土交通省が管理する全国 27 のダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した結果、16 年間で水温が平均 1℃以上上昇したダム貯水池は、19 ヶ所と 7 割を超え、3℃以上変化したダム貯水池も 2 ヶ所あった。水資源機構のダム貯水池のうち、平成 9 年以降、放流水の濁水長期化の記録があったのは 8 つのダムで、発生回数は 26 回であった。そのうち、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、濁水長期化のイベントごとに大きな差異があった。さらに、濁水長期化現象の発生頻度が高いダム貯水池について、放流水濁水および貯水池濁水の発生との関係を検討した結果、出水量と放流水の濁水発生の有無には一定の関係があることが認められた。大きな出水の場合に放流水濁水が発生し、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、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、ほぼ線形の関係が認められた。

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

草木湖で発生する真核ピコ植物プランクトンは 2009 年 6 月、10 月、2010 年 5 月に 10^4 cells/ml 以上となり、夏期と冬期に減少する傾向が認められた。草木湖の真核ピコプランクトン群集は様々な分類群から構成されていることが明らかとなった。各分類群のクローン数の割合を求めたところ、各分類群の割合は時期により変化し、ピコプランクトンの群集構造は季節により変化した。その中でも、クリプト植物門に近縁なクローンは 7 月、8 月を除いたすべての月において 20%以上を占めており、草木湖における主要な真核ピコプランクトンであることが示唆された。18Sr DNA 領域に基づいて系統樹を作成した結果、草木湖で検出されたクリプト植物門に近縁なクローンはジョージ湖やパビン湖で検出されたクローンと近縁であり、貧栄養湖、貧・中栄養湖に一般的に出現するクリプト植物門の微生物と考えられた。草木湖を水源とする浄水場において原水、沈殿水、ろ過水について同様に検討したところ、ダム放流水と原水ではダム表層水と同様に、*Goniomonas* 属に近縁なクローンの数が多く優占種と考えられた。一方、緑色植物門の *Mychonastes* 属は、着水井ではそのクローン数の割合が 5%、沈殿水では 10%であるがろ過水では 57%となり、砂ろ過を通過しやすい生物であることが明らかとなった。試料採取時は濁度障害が起こっていなかったが、*Mychonastes* 属が濁度障害の原因種となる可能性が示唆された。草木湖の主要なピコシアノバクテリアは single cell で存在する PE-type であった。細胞数は $10^4 \sim 10^5$

cells/ml の間で推移し、5月、8月、10月は細胞数が多かった。系統樹を作成した結果、本研究で検出された OTU は 11 のクラスターに分かれることが示された。クローン数が多く、草木湖の主要なピコシアノバクテリアと考えられる OTU は MH305 cluster、PD II、LMK I に位置づけられた。また LMK I、LMK II、LMK III、LK I は従来報告されている *Synechococcus* 属と根元から分岐する新規性の高い系統群であると考えられた。各系統群の割合の推移を解析したところ 5、7、10、11 月は 70% 以上を MH305 cluster のクローンが占めており、4月、8月は幾つかの系統群から構成されていた。また、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。以上のことから MH305 cluster に位置するピコシアノバクテリアが草木湖における主要なピコシアノバクテリアの一つであることが明らかとなった。宮ヶ瀬湖では真核ピコ植物プランクトン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った。 $10^4 \sim 10^5$ cells/ml のオーダーで推移し、10月に最大となった。7月から11月の間、細胞サイズが $1 \sim 2 \mu\text{m}$ の群体形成性の PE-type が出現し、11月、12月は細胞サイズが $1 \mu\text{m}$ に満たない群体形成性の PE-type が出現した。本研究で得られた OTU とその近縁種、代表的な *Synechococcus* 属等について近隣結合法により系統樹を作成した結果、OTU は 11 クラスターに分かれることが明らかとなった。特に、クローン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 は、Group H に位置づけられた。相模湖では CH-type のピコプランクトンは観察されなかった。Single cell で存在する PE-type のピコシアノバクテリアは 10^3 cells/ml のオーダーで推移し、細胞数は、宮ヶ瀬湖、草木湖より低かった。しかし、細胞サイズが $1 \mu\text{m}$ に満たない群体形成性の PE-type がほぼ年間を通じて出現した。相模湖表層水を試料としてクローニングにより得られた OTU について同源性検索を行ったところ、クローン数が多く優占種と考えられる OTU の近縁種は、4月は Uncultured cyanobacterium clone TH_c210、5月は Uncultured cyanobacterium clone TH_d331 であり、これらは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であった。相模湖で検出されたピコシアノバクテリアのクローンについて系統樹を作成したところ大きく 3 つの系統に分かれた。二つの系統はいずれも未培養のクローンからなる系統群で、従来のピコシアノバクテリアの培養株を含まないため新規性の高い系統群と考えられた。一つの系統は PE-type、PC-type の培養株が位置づけられている MH305 cluster、Group E、Group B、Group H を含む系統群であった。このように相模湖では従来、分離・培養が行われていないピコシアノバクテリア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。

4. 浄水場における高濁度原水流入時の浄水処理に関する検討

3 浄水場のいずれの場合も対応可能濁度を設定しており、高濁度流入時に浄水処理機能不全に陥らない対策を持っていた。そのうち、1 浄水場においては、PAC の注入は、主に原水濁度の数値により注入率が決められ、薬品注入は原水濁度に比例し自動注入されているが、著しい変化が伴う場合や沈でん水濁度が上昇する場合は、随時ジャーテストを実施し、

注入量の確認と変更を行なっていた。また、注入パターンは、季節によって変更しており、春夏秋冬は降雨による急激な水質変化が想定されるので注入曲線がやや急カーブとなっているが、一方、冬季は水質が安定する為、緩やかな注入曲線となっていた。高濁度流入時について、各浄水場のデータで検討した PAC 注入率、沈殿処理水濁度を求める回帰方程式から共通因子を選択し、標準回帰係数を比較し、次に各浄水場における標準化後のデータから、原水濁度、処理量、混和池 pH、PAC 注入率を説明変量として重回帰分析を実施した。その結果、PAC 注入率に関しては、原水濁度の影響を強く受けるため、ほぼ原水濁度の傾向だけで注入率を決定する事が可能であると考えられた。沈殿処理水濁度は、原水濁度、処理量、混和池 pH、PAC 注入率との相関を検討すれば、ある程度の予測が可能であったが、予測の精度を高めるためには、水源水質や浄水設備の特性を調査し、それに見合った因子を選択する必要があると考えられた。また、ろ過水濁度については、予測が可能といえる程度の結果は出なかった。これは、沈殿処理水濁度の変動がろ過池での処理能力に対して小さく、ろ過水濁度が変動と呼べるだけの挙動を示さなかったことによるものと考えられた。

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・評価手法の開発ーGIS を利用したリスクマップ作成における空間情報の課題ー

一般に利用可能な一般に利用可能なデジタル情報を探索した結果、ベクターデータ形式の流域界については、国土数値情報の流域界・非集水域(面) (W12-52A) から得ることができた。流路については、国土数値情報の W15-52L と W05-06~W05-09、および数値地図 25000(空間データ基盤)が利用可能であることがわかった。ただし、流域界と流路の対応については、一部のデータで整合がとれていない場合が認められ、この場合、GIS のオーバーレイ機能や空間結合機能により対応できることがわかった。流出流量計算については、国土交通省の水文水質データベースを用いることで、観測地点より上流集水域の基底比流量を決定することができることがわかった。また、雨量・流量年表データベースには昭和 13 年から平成 15 年までの日流量データと観測所コードが収録されており csv 形式で出力できることがわかった。取水に関する情報については、主要水系調査利水現況図数値データを用いて、農業用水、水道用水、発電用水など用途別の取水量と取水位置を利用することができた。これらの情報に、分流地点における分流比率を現場での観測状況をもとに一定値として手作業で設定を行ったうえで、各河道の濁水流量、平水流量を求め、実測流量と計算流量を比べた結果、2 地点(片山地点、行徳地点)の濁水流量を除いて、濁水流量、平水流量、豊水流量ともに大きな差は認められず、精度良く再現できた。次に、汚染排出・流出量計算については、下水処理場、集落排水処理施設に関する情報源から、処理人口や処理方法の情報は得られたが、別途、施設の位置を特定することが必要となった。河川中の病原微生物の平均予測濃度(期待値)について、一般に利用可能な情報のみと鳥取県より入手した家畜飼養状況の個票データを基に計算した場合で比較した結果、千代川下流の下水処理施設、農業集落排水処理施設や家畜からの排水の影響により、下流河川では河川中の病原微生物

の平均濃度が高かった。このとき、一般に利用可能な情報のみでは下流の汚染状況に大きな差は認められないが、個票データを用いた場合には大きな差が再現されたことから、河川水中の病原微生物濃度を評価するために必要な人口、畜産、汚水処理施設は、一般に利用可能な情報源から入手はできるが、位置や規模(浄化槽数や畜産頭数)に関する情報は不十分であると考えられた。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を、GIS を利用した一連の手続きとして計算したところ、リスクマップとして表示できることができた。このとき、人および家畜のクリプトスポリジウムへの罹患、および有症の生起確率を考慮し、モンテカルロ法により任意の河川区間のオーシスト濃度分布を算定したうえで、表流水を水道原水として用いた場合の飲料水による感染リスクをリスクマップとして表示できた。将来的には、気候変動時の流量低減・渇水を考慮することによって、気候変動時のリスクマップを作成できることを示した。

D. 結論

本研究による成果の概要は以下の通りである。

(1) 水安全計画における気候変動に関連した危害事象は、豪雨による濁度などの上昇や取水上の問題の生起、渇水による水源水量の減少や水質の悪化、その他水温上昇とそれに伴う富栄養化の進行並びに藻類の異常増殖などであった。これらの危害事象に関する各事業体のリスク評価結果は総じてさほど高くないが、豪雨時におけるクリプトスポリジウムによる汚染に関しては、高いリスクレベルを設定している事業体もあった。また、多くの場合、水安全計画とは別に(水安全計画の一部として)現場用対応マニュアルが整備されており、その中で、監視方法のほか、管理基準や管理基準を逸脱した場合の対応方法が示されていた。豪雨時における監視対象項目としては、濁度、トリハロメタン、TOC、耐塩素性病原生物、臭気、残留塩素など、渇水時における監視対象項目としては、TOC、pH、トリハロメタン、かび臭物質、濁度、アンモニア態窒素、残留塩素などが挙げられていた。

(2) 水資源機構が管理する 20 のダム貯水池の気温、水温、富栄養化関連項目についてトレンド解析を行ったところ、共通して上昇あるいは低下しているなどの一定の長期的変動の傾向は認められなかった。国土交通省が管理する全国 27 のダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析した結果、16 年間で水温が平均 1℃以上上昇したダム貯水池は、19 ヶ所と 7 割を超え、3℃以上変化したダム貯水池も 2 ヶ所あった。水資源機構のダム貯水池のうち、濁水長期化現象の発生頻度が高いダム貯水池について、放流水濁水および貯水池濁水の発生との関係を検討した結果、出水量と放流水の濁水発生の有無には一定の関係があることが認められ、大きな出水の場合に放流水濁水が発生し、その目安となる出水量を設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、ほぼ線形の関係が認められた。

(3) 分子生物学的手法により草木湖の真核ピコ植物プランクトンの群集構造を解析した結果、年間を通じて高い割合を占めるクリプト藻綱に近縁な種が主要な真核ピコ植物プラン

クトンであることが示唆された。草木湖で検出されたクリプト藻綱に近縁なクローンは、貧栄養湖、貧・中栄養湖に一般的に出現するクリプト藻綱と考えられた。草木湖を水源とする浄水場において原水、沈殿水、ろ過水について同様に検討したところ、ろ過水で多く検出される藻類種が原水における優占種と異なり、ピコ植物プランクトンの種類の違いによって凝集沈殿・砂ろ過における処理特性が異なることが示唆された。相模湖、宮ヶ瀬湖における主要なピコプランクトンはピコシアノバクテリアであることが明らかとなった。草木湖、相模湖、宮ヶ瀬湖において分子生物学的手法によりピコシアノバクテリアの群集構造について解析したところ、水域ごとに優占種が異なることが示唆された。

(4) 対象とした3浄水場のいずれの場合も対応可能濁度を設定しており、高濁度流入時に浄水処理機能不全に陥らない対策を持っていた。高濁度処理に関するデータ解析には重回帰分析を用い、濁度上昇時、下降時などの水質変動パターンごとに分析したところ、PAC注入率に関しては、原水濁度の影響を強く受けるため、ほぼ原水濁度の傾向だけで注入率を決定する事が可能であると考えられた。沈殿処理水濁度は、原水濁度、処理量、混和池pH、PAC注入率との相関を検討すれば、ある程度の予測が可能であった。また、ろ過水濁度については、予測が可能といえる程度の結果は出なかった。

(5) 河川流路や流域界などの図形情報と観測流量統計、利水情報に、分流量の情報を加えることで、任意の河道区間の流量を精度良く再現できることを示した。人口、畜産、污水处理施設に関する統計情報・地図情報を用い、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を、GISを利用した一連の手続きとして計算し、リスクマップとして表示できることを示した。将来的には、気候変動時の流量低減・渇水を考慮することによって、気候変動時のリスクマップを作成できることを示した。

E. 健康危険情報

該当なし

F. 研究発表

誌上発表

- 1) 中村怜奈, 山田俊郎, 秋葉道宏: 気候変動が水道システムに与える影響に関する文献調査, 用水と廃水, 52, 473-481, 2010.
- 2) 秋葉道宏, 山田俊郎, 中村怜奈, 小坂浩司, 浅見真理: 水源水質の変動と健康リスク, 環境システム計測制御学会誌, 15, 16-19, 2010.

学会発表

- 1) 柳橋泰生, 今本博臣, 廣瀬真由, 榎暁史: 水資源機構ダム貯水池における水質の長期的変動, 環境衛生工学研究, 24(3), 2010.
- 2) 松尾絵理子, 森田真紀, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 遠本和也, 柳橋泰生, 山田俊

郎，秋葉道宏：分子生物学的手法による草木湖のピコプランクトン群集構造解析，第 44 回日本水環境学会年会講演集，2010.

3) 村田昌隆，藤本尚志，大西章博，鈴木昌治，遠本和也，岸田直裕，秋葉道宏：分子生物学的手法による草木湖の微小プランクトン群集の季節変化の解析，日本水処理生物学会第 47 回大会講演集，2010.

G. 知的所有権の取得状況

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

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22年度 分担研究報告書

平成23年3月

水安全計画を活用した気候変動に係わる
水道システムへの危害と対応の評価

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

水安全計画を活用した気候変動に係わる水道システムへの危害と対応の評価

研究代表者： 秋葉 道宏 国立保健医療科学院水道工学部長

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水道工学部主任研究官

A. 研究目的

WHO は、飲料水水質ガイドライン(第3版)¹⁾において、水源から給水栓に至る全ての段階で、危害の評価と管理を行い、安全な水道システムを構築する「水安全計画」について提唱している。また、2009年、WHO/IWA は、水安全計画について詳述した、水安全計画マニュアルを公表した²⁾。国内では、2008年、厚生労働省健康局水道課は「水安全計画策定ガイドライン」³⁾を、日本水道協会は、「水安全計画支援ツール」⁴⁾を公表した。水安全計画を作成する際、危害および危害原因事象の抽出が、重要かつ労力を要するプロセスとなるが、水安全計画支援ツールでは、危害原因事象の抽出段階において、国内水道での想定される危害原因事象として237項目を示し、その中から、対象水道が当てはまる項目を選択するシステムとなっている。

本研究では、同リストを活用し、国内水道における気候変動に関連した危害、危害原因事象とその対応について抽出・整理し、水安全計画での位置付け(リスクの大きさ等)等の評価について検討を行った。

B. 研究方法

水安全計画を既に策定している国内の11水道事業者(A~K)から、策定した水安全計画を入手した。地域別で示すと、北海道東北地方1、関東地方4、中部地方1、近畿地方3、中国・四国地方1、九州地方1であった。また、事業形態で分類すると、上水道事業5、水道用水供給事業6であった。それぞれの水安全計画の中で取り上げている気候変動に関連した水道システムへの危害と、それらに対する対応策などについて情報を整理した。

なお、水安全計画で取り上げられているこれらの危害事象は、台風・集中豪雨や渇水による水源河川での流量の異常、水源水域における水温の異常上昇などであり、いずれも異常気象による水量や水質の急激な変化などであって、必ずしも異常気候による水量及び水質の中長期的な変化ではないが、本研究において取り上げる価値は十分にあると考えられた。

C. 結果および考察

(1) 気候変動に関連した危害について

各水安全計画において、気候変動に関連した危害事象として、豪雨による濁度などの上昇や取水の問題の生起、渇水による水源水量の減少や水質の悪化、その他水温上昇とそれに伴う富栄養化の進行並びに藻類の異常増殖などが挙げられていた。図1に、各水道事業者の危害数につい

て示す。気候変動に関連した危害は、豪雨、渇水、その他（藻類、水温等）に分類した。

危害数の算出は、各事業者によって異なり、危害に関連する複数の水質項目を1つの危害としている場合、危害に関連する1つの水質項目を1つの危害としている危害に関連する複数の水質項目を1つの危害としている場合があった。このため、同じ危害原因事象数であっても水道事業者によって危害数にばらつきが認められた。割合で見ると、気候変動に関連する平均割合は12%（豪雨7%、渇水3%、その他2%）で、割合が多い事業者でも約20%程度であった。

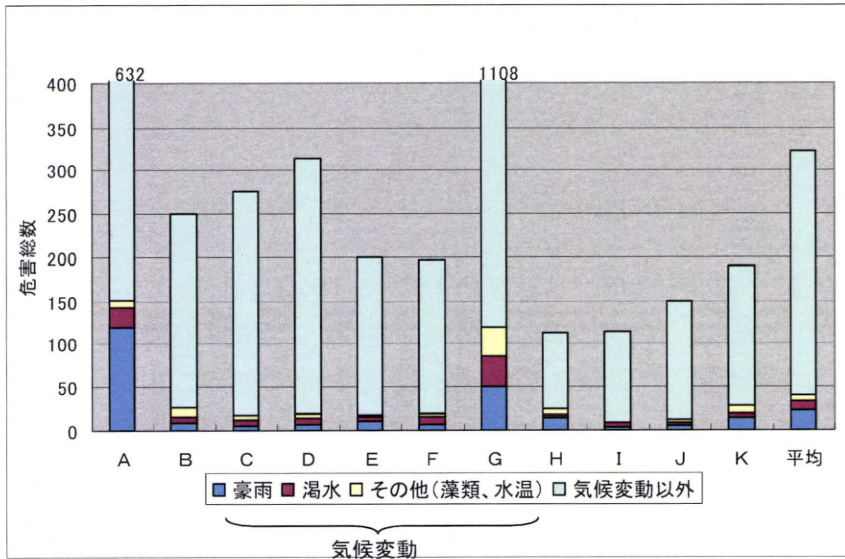


図1 事業者別危害数

気候変動に関する危害のリスクレベル割合を図2、全ての危害のリスクレベル割合を図3に示す。また、各リスクレベルに対する標準的な対応措置を表1に示す。全体と比較すると、気候変動での危害では、取水停止や送水停止など対応が必要な事象（リスクレベル5）は少なかった。

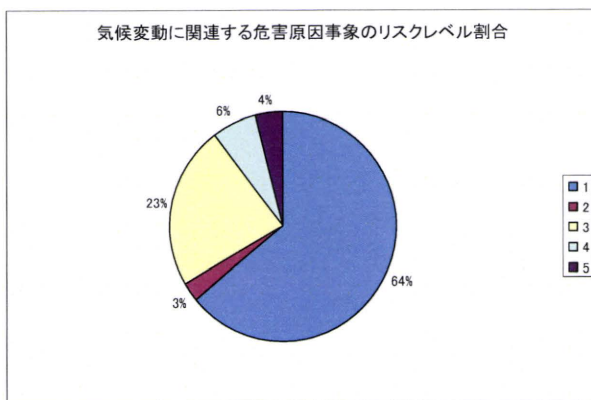


図2 気候変動関連リスクレベル割合

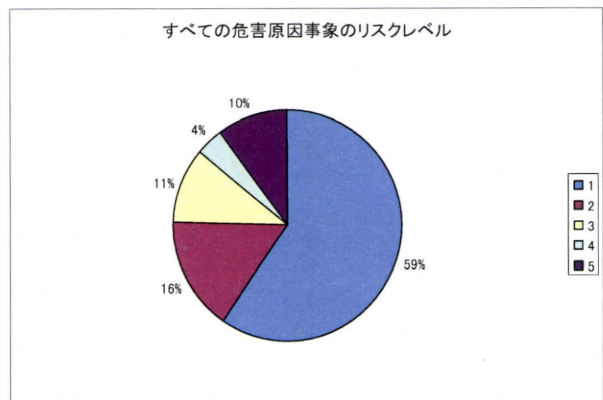


図3 全てのリスクレベル割合

表1 標準的な対応措置の例

リスクレベル	標準的な対応措置
5	原則として取水停止、送水停止とする
4	管理強化に加え、設備改良など恒久的対策を検討する
3	管理を強化する
2	監視を強化しつつ、通常の管理を継続する
1	通常の管理を継続する

(2) 気候変動に関連した危害のリスクレベルについて

気候変動に関連する水道システムへの危害のうち、「豪雨」「渇水」について、関連する水質項目、求められる管理対応措置などを具体的に示すとともに、その発生頻度、影響程度およびリスクレベルについても評価した。各危害に対するリスクレベルは、その発生頻度と影響程度からなるリスクレベル設定マトリックスによって決定されるが、マトリックスは、水安全計画策定ガイドラインと同じ場合と、水道事業者が独自で設定している場合があった。このため、リスクレベルについて解析を行う場合には、統一した尺度での比較検討が必要であるため、水安全計画策定ガイドラインの評価指標に変換して作業を進めることとした(表2)³⁾。また、リスクレベルが設定していなかったりした場合もあったため、同解析については、11事業者中、7事業者について行った。

表2 水安全計画策定ガイドラインの評価指標

発生頻度の分類(ガイドラインP16 表3.2-1)

分類	内容	頻度
A	滅多に起こらない	10年以上に1回
B	起こりにくい	3~10年に1回
C	やや起こる	1~3年に1回
D	起こりやすい	数ヶ月に1回
E	頻繁に起こる	毎月

影響程度の分類(ガイドラインP16 表3.2-2(1))

分類	内容	説明
a	取るに足らない	利用上支障はない。
b	考慮を要す	利用上支障があり、多くの人が不満を感じるが、ほとんどの人は別の飲料水を求めるまでには至らない。
c	やや重大	利用上支障があり別の飲料水を求める。
d	重大	健康上の影響が現れるおそれがある。
e	甚大	致命的な影響が現れるおそれがある。

リスクレベル設定マトリックス(ガイドラインP17 表3.2-3)

			危害原因事象の影響程度					
			取るに足らない	考慮を要す	やや重大	重大	甚大	
			a	b	c	d	e	
危害原因事象の発生頻度	頻繁に起こる	毎月	E	1	4	4	5	5
	起こりやすい	1回/数ヶ月	D	1	3	4	5	5
	やや起こる	1回/1~3年	C	1	1	3	4	5
	起こりにくい	1回/3~10年	B	1	1	2	3	5
	滅多に起こらない	1回/10年以上	A	1	1	1	2	5

図4、5に、それぞれ豪雨に関連した危害についての、リスクレベルの割合と危害発生地点を示す。豪雨に対するリスクレベルは、半数以上がレベル1（通常の管理を継続する）となっており、豪雨に対する危害発生場所は、99%が水源から浄水場までとなっていた。また、地方別で見ると、中部地方と中国四国地方が、他の地方に比べリスクレベル5の割合が高かった。

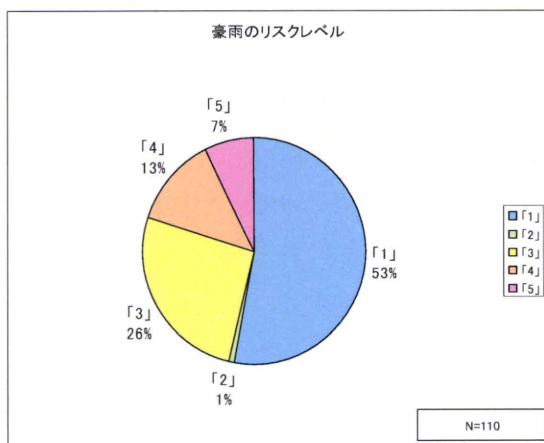


図4 豪雨に関連した危害に対する
リスクレベルの割合

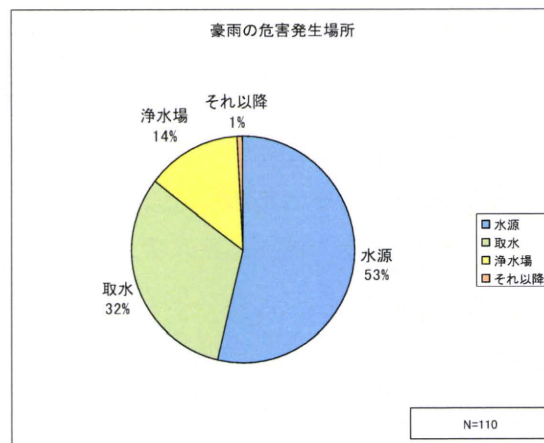


図5 豪雨に関連した危害の発生地点

図6、7に、それぞれ渇水に関連した危害についての、リスクレベルの割合と危害発生地点を示す。渇水に対するリスクレベルは、75%がレベル1（通常の管理を継続する）で、渇水に対する危害発生場所は、全てが水源から浄水場までであった。また、地方別では、関東地方と中部地方だけが、渇水危害に対してリスクレベル5を設定していた。

豪雨と渇水で比較すると、いずれにおいても、通常の管理で対応ができるものが大半を占めていた。一方、渇水に比べ豪雨の方が、取水停止や管理強化など大々的の対応を要する割合が高かった。これは、発生頻度（豪雨の方が起こりやすい）が影響していると考えられた。

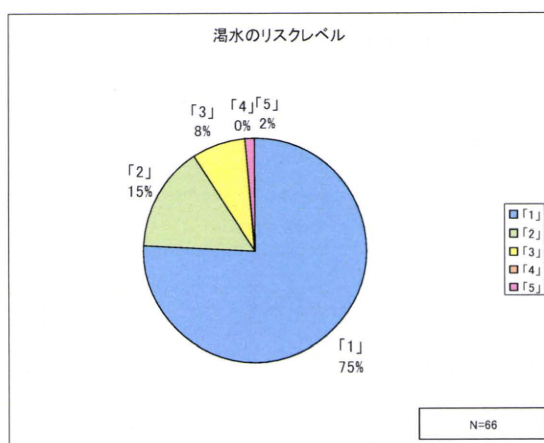


図6 豪雨に関連した危害に対する
リスクレベルの割合

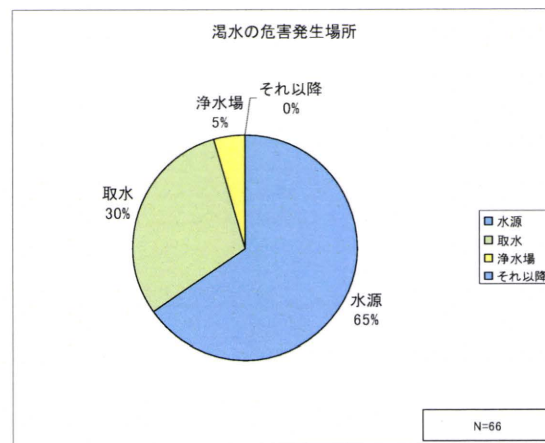


図7 豪雨に関連した危害の発生地点

表3に、豪雨および渇水に関連した危害について、リスクレベルが5に設定されている項目を示す。豪雨、渇水のいずれの場合も、高いリスクレベルを設定している危害は、クリプトスポリジウムによる汚染に関してであった。