

201134003B

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21～23年度 総合研究報告書

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. 総合研究報告書	
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. 研究成果の刊行に関する一覧表	15
III. 研究成果の刊行物・別刷	19

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¹⁾

研究協力者

東京都水道局総務部施設計画課長 青木秀幸²⁾
東京都水道局総務部施設計画課長 芦田裕志³⁾
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¹⁾
国立保健医療科学院水道工学部研究生 古林祐正⁴⁾
国立保健医療科学院水道工学部研究生 中村怜奈⁴⁾
国立保健医療科学院水道工学部研究生 今野祥顕⁵⁾
川崎市上下水道局 田中和明¹⁾
川崎市上下水道局水管理センター 藤瀬大輝¹⁾
桐生市水道局水質センター主査 矢島修²⁾
独立行政法人水資源機構環境室水環境課長 吉口進朗¹⁾

1) 平成22～23年度

2) 平成21～22年度（当時の役職）

3) 平成23年度

4) 平成21年度

5) 平成22年度

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21～23年度 総合研究報告書

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）
総合研究報告書

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。過去の文献を収集し、これまで指摘されている気候変動による水資源分野への影響にともない、水道等の飲料水供給に対する影響、施設への直接的な影響、自治体等で既に取り組みされている気候変動への適応策等につき整理した。また、水道事業体を作成している水安全計画において、気候変動に関連した危害事象のうち、特に、豪雨と濁水について、影響発生地点、リスクレベル、監視項目等を整理した。国土交通省等が管理するダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析し、上昇傾向にあるダム貯水池が多いことを確認した。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、出水量と濁水発生の有無には一定の関係があることが認められ、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、ほぼ線形の関係があり、年間降水量や濁水長期化が起りやすい日降水量を超える日が増加していることを示した。分子生物学的手法により、ダム湖に存在するピコプランクトンの生物相および浄水場における濁度障害の原因種について明らかにした。細胞数や群集構造に影響する要因の一つとして水温が示唆された。パイロットスケールの実験結果から、降雨による濁度急変時の浄水処理性は、沈殿水濁度の上昇により砂ろ過初期濁度の上昇の影響が認められたが、膜ろ過では除濁性や膜差圧上昇への影響は認められないと考えられた。膜ろ過システムは、原水濁度急変時においても確実な処理システムであった。残留アルミニウムは、砂ろ過や膜ろ過でも除去できず、凝集沈澱プロセス運転管理が重要性であることが示された。実際の浄水場の高濁度処理に関するデータを用いて、重回帰分析を適用した結果、沈殿水濁度は、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ることがわかった。しかし、重回帰分析を行う際には、用いるデータの吟味が必要であった。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。また現地ヒアリングを実施し、島嶼地区および中山間地での小規模水道を対象に、管理状況と課題を把握した。河川流路や流域界などの図形情報と流域面積、観測流量統計、利水情報などの一般に利用可能な情報に分流量の情報を手作業で加えることで、任意の河道区間の流量を精度良く再現できることを明らかにした。一連の手続きを完全に自動化することはできなかったが、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。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。

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、インターネット情報を中心に文献検索を行い、水道等飲料水供給システムに対する気候変動の影響および対応策に関する事例や情報を収集・整理した。また、水安全計画を既に策定している国内の 11 水道事業者から水安全計画を入手し、それぞれの水安全計画の中で採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等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)

水資源機構管理ダムのうち長期的にデータが蓄積されている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 5~20 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。さらに、水資源機構管理ダムのうち、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い、濁水長期化の発生が多いダム貯水池について、濁水長期化の発生予測に資するため、近傍の気象観測所の長期間に亘る降水量データを解析した。

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、沈殿水、ろ過水も同様に検討を行った。ピコプラン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) 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

急激な河川原水の濁度上昇時を想定し、急速ろ過システムおよび凝集沈澱と膜ろ過を組み合わせたシステムについてパイロットスケールプラントにより実験を行い、濁度の処理性、アルミニウムの残留性や運転管理に関わる項目について実験的検討を行った。

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) 小規模水道における気候変動に対応した管理手法に関する検討

中山間地域や島嶼地区で利用されている小規模水道や飲料水供給施設を対象に、気候変動によって生じる危害事象を文献調査から整理した。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、特に渇水時および豪雨時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情報を収集・整理した。その上で、河川表流水の病原微生物による汚染濃度、およびその水を水道原水とした場合の水道水飲用による感染リスクを計算した。さらに、浄水方法・浄水供給地域の水道利用者の空間情報等を組み合わせ、地域の水道水飲用による病原微生物感染に対する脆弱性を評価するとともに、気候変動時の流量低減・渇水を考慮し、任意の地域の脆弱性をリスクマップとして表示する GIS 上の手続きを検討した。

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

文献調査の結果、気候変動によって引き起こされる様々な現象のうち、水道システムへ与える影響が大きいと考えられるものとして、気温の上昇、降雨量の増加、降雨変動の増大・降雨パターンの変化、豪雨の発生回数の増加、無降雨日数の増加、降雪量の減少と雪解けの早期化、海面の上昇等があった。水源系への影響としては、渇水被害、洪水被害、臭いの原因となる物質の増加、重金属の溶出、下水や汚染物質の流入、農薬汚染状況の変化、井戸水の塩水化等が、処理系への影響として、水質悪化による処理施設への影響、処理で使う薬品量の増加、浄水汚泥や廃棄物の増加、水没による被害が挙げられた。給配水系では、雷による送水ポンプの停止、斜面の崩壊、塩素の不足、病害虫の発生などが考えられた。

渇水や洪水への直接的対策として、ダムの新規建設の他、既存のダム群の再編や、異なる水源の間で融通管を設置することによるバックアップシステムの構築、雨水利用の促進、雨水の表面流出防止、地下水の保全、水源涵養林の保全が考えられた。降雨パターンの変化への適応策として、水道システムの運転管理の調整による対応が挙げられていた。また、浄水場では洪水や落雷など自然災害に備え、自家発電装置の設置等の整備強化が図られていた。

11 事業者による水安全計画における気候変動に関連した危害事象のうち、豪雨、渇水のいずれも、発生影響地点は、ほとんどが水源から浄水場までで、両事象ともにクリプトスポリジウムによる汚染を、高いリスクレベルに設定していた。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」を設定している場合が多かった。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」などを設定している場合が多かった。

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)

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。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。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、近傍の気象観測所における50年間のデータを解析したところ、50年間で年間降水量が186mm増加しており、濁水長期化が起りやすい日降水量100mmを超える日が約1日増加していることが示された(図1)。

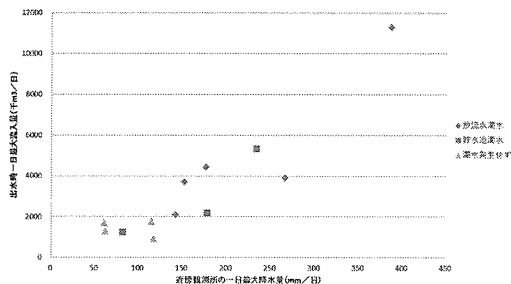


図1 近傍気象観測所の降水量、出水時流入量および濁水発生の関係

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

草木湖では、2009年6月～2011年5月の間、ほぼすべての月においてクリプト植物門の *Goniomonas* 属に近縁なクローンが検

出され、主要な真核ピコプランクトンであることが示唆された。真核ピコ植物プランクトンの細胞数は5～6月および10月に高まる傾向が認められた。

元宿浄水場のろ過水から、2010年5月は緑藻植物門の *Mychonastes* 属に、2011年6月は黄金色藻綱の *Spumella* 属に近縁なクローンが検出され、砂ろ過を通過しやすく濁度障害の原因となる可能性が示唆された。

宮ヶ瀬湖、草木湖、相模湖において、ピコシアノバクテリアの優占種が異なることが明らかとなった。宮ヶ瀬湖、草木湖ともに、15℃を超える水温条件において細胞数が 10^4 cells/mL以上であり、水温が重要な因子であることが示唆された。宮ヶ瀬湖の各月のピコシアノバクテリア群集の違いをUniFracにより評価したところ、2010年4～7月にかけての群集構造の変化が大きく、群集構造が季節によって推移することが示唆された。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、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。

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

原水濁度5、30、300度の3段階について、凝集剤(PAC)注入率を30mg/Lで一定とする条件を基本として(沈澱水濁度の状況に応じて60mg/L)、パイロットスケールの実験を行った。沈澱水濁度は、原水濁度の変動と同様の変動傾向を示し、凝集剤注入率を増加させると沈澱水濁度は低下した。原水濁度と凝集剤注入率が同一であれば、沈澱水濁度は同程度となり、濁度の上下動の差は認められなかった(図2)。膜ろ過水濁度は、全ての運転条件で検出限界値以下となり、操作条件の変更等による膜差圧の差異は認められず、確実な濁質除去が可能であった。残留アルミニウム濃度は、砂ろ過水、膜ろ過水ともに沈澱水中の溶解性アルミニウムと同等量が検出されたことから、凝集沈澱における制御が不可欠であることが示された。

濁度変動時の浄水場ごとのデータで因子を選択し、重回帰分析を実施した結果、沈殿水濁度は、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、さらに検討が必要であると考えられた。しかし、因子間の相関の影響を排除していないため、多重共線性の検討を行い因子の再検討を行った。この結果、一部の結果で運転管理において濁度が因子から除かれるなど、浄水場の操作に応用するためには現実的でない解析結果となる場合があった。解析データの分析から、凝集剤注入率を変化にともなう沈殿水濁度の変動の時間遅れ、取水量が変化しているなど複数の因子が変化しているにもかかわらず、沈殿水濁度の変動が小さいため想定と逆の影響を推定してしまうケースがあった。

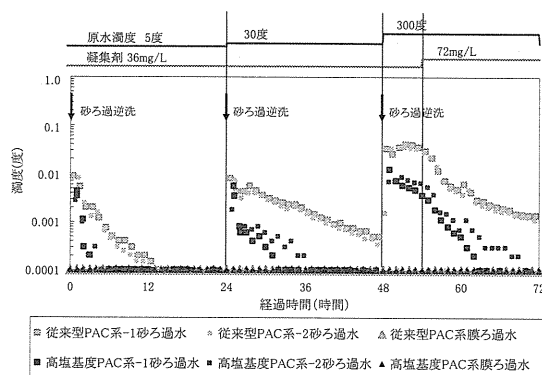


図2 砂ろ過水濁度の経時変化

5) 小規模水道における気候変動に対応した管理手法に関する検討

これまでの厚労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。

中山間地域の小規模水道例として島根県松江市美保関地区の簡易水道を、また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。今回の調査対象地区において、近年渇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、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、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。

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 を利用したリスクマップ作成における空間情報の課題—

表流水の病原微生物汚染評価の際に利用可能な統計情報、地図情報を整理した。一般に利用可能なデジタル情報を探索した結果、流域界、流路、流出流量計算、雨量・流量年表データベース、取水に関する入手先と活用方法について明らかにした。ただし、流域界と流路については、一部のデータで整合がとれていない場合があったため、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を示した。

病原微生物の面的汚染源と考えられる「放牧場」情報の実態を比較考察した結果、利用可能な無償、有償の情報源を得たが、放牧場を直接同定できる情報源は存在していなかった。このため、草地とゴルフ場などが区分されている民間会社の地図情報やその他の複数の情報を組み合わせることで、同定が可能であることを示した。

点源からの汚染排出・流出量計算は、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。しかし、施設の位置の特定について

は、別途、実施することが必要であることがわかった。

鳥取県千代川流域を対象に、各河道の渇水流量、豊水流量、平水流量を算出し、実測流量と計算流量を比較した。その結果、2地点(片山地点、行徳地点)の渇水流量を除いて、大きな差は認められず、精度良く再現できることがわかった。また、GIS を利用することで、人および家畜のクリプトスポリジウムへの罹患、および有症の空間的生起確率を考慮し、モンテカルロ法を活用した一連の手続きとして任意の河道区間、表流水取水位置における病原微生物濃度(オーシスト濃度)や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河道区間ごとのリスクマップとして表示できることを示した(図3)。なお、河川中の病原微生物の平均予測濃度(期待値)については、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、污水处理施設は、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。

さらに、浄水供給地域毎の感染脆弱性リスクマップを作成するための浄水方法および浄水供給地域の受益者の年齢構成情報は、国勢調査および利水現況図より入手し、推定のための計算処理ができることを示した。なお、気候変動時の流量低減・渇水情報については、一般に利用可能な情報が見あたらなかったため、論文から得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、気候変動前後のリスクマップを作成できることを示した。

モンテカルロシミュレーションを利用したリスクマップ作成
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、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、表流水を用いた水道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。

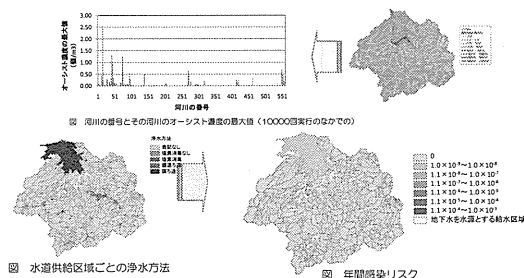


図3 GISを活用した感染リスクマップ

E. 結論

- 1) 過去の文献を収集し、これまで指摘されている気候変動による水資源分野への影響にとれない、水道等の飲料水供給に対する影響、施設への直接的な影響、自治体等で既に取り組みされている気候変動への適応策等につき整理した。また、水道事業者が作成している水安全計画において、気候変動に関連した危害事象のうち、特に、豪雨と渇水について、影響発生地点、リスクレベル、監視項目等を整理した。
- 2) 国土交通省等が管理するダム貯水池の表層水温の長期的な変化を解析し、上昇傾向にあるダム貯水池が多いことを確認した。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、出水量と濁水発生の有無には一定の関係があることが認められ、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、ほぼ線形の関係があり、年間降水量や濁水長期化が起りやすい日降水量を超える日が増加していることを示した。
- 3) 分子生物学的手法により、ダム湖に存在するピコプランクトンの生物相および浄水場における濁度障害の原因種について明らかにした。細胞数や群集構造に影響する要因の一つとして水温が示唆された。
- 4) 降雨による濁度急変時における浄水処理性は沈澱水濁度の上昇により砂ろ過初期濁度の上昇の影響が見られたのに対し、膜ろ過においては除濁性や膜差圧上昇への影響は見られず、膜ろ過システムは原水濁度急変時においても確実な処理システムで

あった。残留アルミニウムは砂ろ過や膜ろ過でも除去できないことから、凝集沈澱プロセス運転管理が重要性である。

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結果、沈殿水濁度は、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。しかし多重共線性の検討を行うと主要因子と考えられる濁度が欠落する場合があるなどのケースがあり、用いるデータを吟味して重回帰分析を行う必要性が明らかとなった。

5) 過去の危機事例などから、小規模水道において気候変動によって発生した危害事象を整理した。中山間地や島嶼地区における小規模水道等を対象に実施した現地ヒアリングから、水道管理面では起こりうる危害事象に対する備えが個別でとられているものの、水道事業者と衛生部局との連携の促進が課題であることが示唆された。

6) 河川流路や流域界などの図形情報と流域面積、観測流量統計、利水情報などの一般に利用可能な情報に分流量の情報を手作業で加えることで、任意の河道区間の流量を精度良く再現できることを明らかにした。一連の手続きを完全に自動化することはできなかったが、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。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) 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) 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)

3) 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. (査読あり)

4) 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.

5) 増田貴則, 田中春樹, 山田俊郎, 秋葉道宏, 細井由彦. GIS を活用した水道原水の汚染リスク要因抽出に流域情報の形態が与える影響について, 環境工学研究論文集, 46, 241-247, 2009. (査読あり)

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) Yamada T., Nakamura R., Shimazaki D. and Akiba M. Climate change and drinking water - climate change impacts on water supply, and their mitigation and adaptation in Japan, International Symposium: Toward a Sustainable Low Carbon Society - Green New Deal and Global Change -, Focus2-2, 211-213, 2009.

3) 山本隆広, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 尾崎武志, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法による宮ヶ瀬湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第 45 回日本水環境学会年会講演集, 726, 2011.

4) 加藤理奈, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 遠本和也, 山口茂, 吉口進朗, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法に

よる草木湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第 45 回日本水環境学会年会講演集, 727, 2011.

5) 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.

6) 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), 180-183, 2010.

7) 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 南方則之, 堀野秀一, 佐藤研一郎. パイロットプラントにおける濁度急変による浄水処理への影響に関する実験的検討, 第 61 回全国水道研究発表会講演集, 262-263, 2010.

8) 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, 683, 2010.

9) 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誌別巻, 30, 13, 2010.

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

研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

1. 論文発表

<平成21年度>

- 1) 増田貴則, 田中春樹, 山田俊郎, 秋葉道宏, 細井由彦. GIS を活用した水道原水の汚染リスク要因抽出に流域情報の形態が与える影響について, 環境工学研究論文集, 46, 241-247, 2009. (査読あり)

<平成22年度>

- 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.
- 3) 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. (査読あり)
- 4) 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)

<平成23年度>

- 5) 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

<平成21年度>

- 1) Yamada T., Nakamura R., Shimazaki D. and Akiba M. Climate change and drinking water - climate change impacts on water supply, and their mitigation and adaptation in Japan, International Symposium: Toward a Sustainable Low Carbon Society - Green New Deal and Global Change -, Focus2-2, 211-213, 2009.
- 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, 683, 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誌別巻, 30, 13, 2010.

<平成22年度>

- 4) 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 南方則之, 堀野秀一, 佐藤研一郎. パイロットプラントにおける濁度急変による浄水処理への影響に関する実験的検討, 第61回全国水道研究発表会講演集, 262-263, 2010.
- 5) 柳橋泰生, 今本博臣, 廣瀬真由, 楨暁史. 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), 180-183, 2010.
- 6) 山本隆広, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 尾崎武志, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法による宮ヶ瀬湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第45回日本水環境学会年会講演集, 726, 2011.
- 7) 加藤理奈, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 遠本和也, 山口茂, 吉口進朗, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法による草木湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第45回日本水環境学会年会講演集, 727, 2011.

<平成23年度>

- 8) 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.
- 9) 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.

研究成果の刊行物・別刷

研究成果の刊行に関する一覧表

1. 論文発表

<平成21年度>

- 1) 増田貴則, 田中春樹, 山田俊郎, 秋葉道宏, 細井由彦. GIS を活用した水道原水の汚染リスク要因抽出に流域情報の形態が与える影響について, 環境工学研究論文集, 46, 241-247, 2009. (査読あり)

<平成22年度>

- 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.
- 3) 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. (査読あり)
- 4) 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)

<平成23年度>

- 5) 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

<平成21年度>

- 1) Yamada T., Nakamura R., Shimazaki D. and Akiba M. Climate change and drinking water - climate change impacts on water supply, and their mitigation and adaptation in Japan, International Symposium: Toward a Sustainable Low Carbon Society - Green New Deal and Global Change -, Focus2-2, 211-213, 2009.
- 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, 683, 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誌別巻, 30, 13, 2010.

<平成22年度>

- 4) 古林祐正, 伊藤雅喜, 山田俊郎, 南方則之, 堀野秀一, 佐藤研一郎. パイロットプラントにおける濁度急変による浄水処理への影響に関する実験的検討, 第61回全国水道研究発表会講演集, 262-263, 2010.
- 5) 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), 180-183, 2010.
- 6) 山本隆広, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 尾崎武志, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法による宮ヶ瀬湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第45回日本水環境学会年会講演集, 726, 2011.
- 7) 加藤理奈, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 遠本和也, 山口茂, 吉口進朗, 岸田直裕, 秋葉道宏. 分子生物学的手法による草木湖のピコシアノバクテリア群集構造解析, 第45回日本水環境学会年会講演集, 727, 2011.

<平成23年度>

- 8) 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.
- 9) 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.

(29) GISを活用した水道原水の汚染リスク要因抽出 に流域情報の形態が与える影響について

増田貴則^{1*}・田中春樹¹・山田俊郎²・秋葉道宏²・細井由彦¹

¹鳥取大学大学院工学研究科 (〒680-8552 鳥取県鳥取市湖山町南4-101)

²国立保健医療科学院水道工学部 (〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6)

* E-mail:masuda@sse.tottori-u.ac.jp

WHOにより提唱されている水安全計画では、水源から給水栓までの水道システム全体を通して水道事業者がリスク要因を重点的かつ総合的に管理する計画を立てることが求められる。しかし、リスク要因情報が一元的に管理されていない現状では、小規模な水道管理者自らがリスクを主体的に評価することは技術面・費用面で困難と思われる。そこで本研究は、病原微生物による水道原水リスク要因に関する情報を地理情報システム (GIS) を用い、一般に利用可能な統計等のみを情報源とし、リスク要因の種類や大きさなどを簡易に抽出する解析手法を提案した。また、元情報の空間精度の違いがリスク要因の抽出結果へ与える影響を検討した結果、抽出される水源数や汚染要因数に大きな影響を与えることがわかった。都道府県などから個票データを手に入して整理することで要因抽出の精度は向上するが、各水道事業者が個票データを整理することは非効率と考えられるため、これらの情報の関係機関に利用環境を整備するように働きかけることが必要と考えられた。

Key Words : *waterworks, drinking water, geographic information system, pathogenic microorganism*

1. 背景および目的

厚生労働省は飲料水による健康被害の発生予防と拡大防止を図るため、平成9年に「飲料水健康危機管理実施要領」を策定し、水道水だけではなく水道法非適用の小規模水道水や飲用井戸水を原因とする健康危機事象を対象として、事故などがあった場合の対応等の措置を定めた。この実施要領に基づいて、飲用井戸や簡易水道における大腸菌やノロウイルスなどによる集団感染が報告されており¹⁾、その報告件数、影響人口は多数に渡っていることから、適切な発生予防策を講じることが求められる。また、WHOにより、水道水に起因する健康被害の未然防止のために水安全計画の考え方が提唱されている。水安全計画の策定では、水源から給水栓までの水道システム全体を通して水道事業者がリスク要因を重点的かつ総合的に管理する計画を立てることが求められている²⁾。これらのことから、過去の健康危機事例を分析するとともに、水源流域のリスク要因について抽出・把握する必要があると思われるが、リスク要因情報が一元的に管理されていない現状では、水道事業者や小規模水道管理者自らがリスクを主体的に評価することは技術面・費用面で困難と思われる。

そこで本研究グループでは、水道水源流域におけるリスク要因に関する情報を一元的に管理する手段として地理情報システム (GIS) を用いることとし、一般に利用可能な統計やデータベース、電話帳、地図データ等を情報源として、水道および小規模水道を対象とした病原微生物による飲料水汚染要因を水源別に把握する手法を開発することとした。これは、全国どここの水道事業者であっても同様の方法を用いることで汚染要因抽出できることを目指したものである。しかし、同様にこれまでも GIS を水道原水の管理や評価に役立てようとする研究事例は報告されているが³⁻⁴⁾、情報の質や形態が評価結果にどのような影響を与えるかは検討されていない。そこで本研究では、リスク要因に関する詳細な数値情報を得られる地域を対象とした場合についてもリスク要因を抽出し、それらを比較することで抽出結果の評価精度について検討することとした。これらを通じて、簡便にリスク要因情報を抽出するための情報と手法を明らかにするとともに、リスク要因情報の空間精度や集計精度が汚染要因の抽出に与える影響を明らかにすることを目的としている。

2. 研究方法

水道水源流域の汚染状況、汚染の発生源の情報（生活排水処理施設、畜舎等）について、病原微生物による原水汚染要因の把握を GIS 上で行う際に利用可能と考えられる統計やデータベースに関する情報と GIS への取り込み方法を整理した。本研究で用いるデータは、汎用的な利用、簡易な手続きで利用することを念頭に、全国規模で調査されており、かつ、一般に入手しやすいものを対象に整理を行う。また、これらの情報の元データの状態で GIS に取り組む方法、取り組んだ後のフィーチャー種類、属性値、元データの更新頻度などの情報について整理を行う。

さらに、これらの情報を元に、GIS の同心円解析、および、上流解析機能にオーバーレイ解析機能を組み合わせて病原微生物による原水汚染要因を抽出する。

また、元情報の空間データ精度が汚染要因抽出結果に与える影響を検討するために、同一の汚染要因に対して、空間精度の異なる複数の情報を準備し、開発した手法により抽出される原水汚染要因の比較を行った。

3. 結果および考察

(1) 原水汚染要因の情報整理

本研究で情報源整理の対象とした原水汚染要因とその結果を整理したものを表1に示す。

対象とする原水汚染要因は、病原微生物に対する過去の汚染事例⁵⁻⁸⁾、水源管理事例⁹⁾を参考に整理した。病原性微生物の排出源としては、主に家庭排水の処理施設である下水道終末処理場、農業集落排水処理施設、し尿処理施設、コミュニティプラント、家庭用し尿浄化槽などがある。牛・豚などの家畜飼育、病院、動物園、ペットショップなども排出源として注目する必要がある⁸⁾。それに加えて、過去に感染事例のあるキャンプ場やプール、災害発生の影響も考慮し、これらの要因を原水汚染要因とした。対象とした原水汚染要因は、「し尿起因」、「畜産・動物起因」、「医療起因」、「レクリエーション起因」、「災害起因」の5項目30種類以上となった。これらの要因を「点源」と「面源」に分類するとともに、水源に常に影響を及ぼすと思われる要因を顕在要因とし、天災や管理不十分による事故など様々な起因が重なって水源に影響を及ぼすと思われる要因を潜在要因として分類した。

また、本研究でGISに取り込んだ元データに関する情報を整理したものを表2に、鳥取県内の汚染要因数を表3に示す。

整理の結果、大半の情報がポイント情報であり、住所を入力しアドレスマッチングを行うことで容易に GIS に

表1 対象とした原水汚染要因

要因種別	原因	原因	原因	
顕在要因	し尿起因	△下水処理場 ○し尿処理施設	△農業集落排水処理施設 ○コミュニティプラント	△漁業集落排水処理施設 ×CSO
	動物・畜産起因	△家畜、畜産農家	×畜産糞尿処理施設	○動物園
	レクリエーション起因	○温泉、公衆浴場	○プール	
	し尿起因	△浄化槽	×し尿・濃縮汚泥還元農地	
	動物・畜産起因	△牧場	×家畜糞尿還元農地	△サファリパーク
	レクリエーション起因	△野生動物		
	災害起因	△キャンプ場		
	災害起因	×浸水危険地域		
	し尿起因	○下水処理処理施設、コンポスト施設	○し尿など高濃度肥化施設	×汚水・汚泥中埋施設
	畜産・動物起因	○ペットショップ	○家畜保健衛生所	
潜在要因	医療起因	○病院 ○動物病院、家畜保健衛生所	○診療所 ○医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設	○保健所・衛生検査所 ×感染性廃棄物処理、処分施設
	し尿起因	△し尿汲み取り槽	×汚水・汚泥中埋施設	
	災害起因	○地滑り地域、地盤り危険地域	○活断層	
	し尿起因	○下水処理処理施設、コンポスト施設	○し尿など高濃度肥化施設	×汚水・汚泥中埋施設
	畜産・動物起因	○ペットショップ	○家畜保健衛生所	
	医療起因	○病院 ○動物病院、家畜保健衛生所	○診療所 ○医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設	○保健所・衛生検査所 ×感染性廃棄物処理、処分施設
	し尿起因	△し尿汲み取り槽	×汚水・汚泥中埋施設	
	災害起因	○地滑り地域、地盤り危険地域	○活断層	
	し尿起因	○下水処理処理施設、コンポスト施設	○し尿など高濃度肥化施設	×汚水・汚泥中埋施設
	畜産・動物起因	○ペットショップ	○家畜保健衛生所	

○: データソースあり, △: データソースはあるが、場所の特定に問題あり, ×: 一般に利用可能なデータなし

表2 汚染要因のGISへの収録方法と収録情報

要因種別	原因	GISへの収録方法	フィーチャーの種類	使用する属性	更新頻度
し尿起因	下水処理場	住所調査→住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	放流量、処理人口	毎年更新
	農業集落排水処理施設	→地区名入力 →アドレスマッチング	ポイント	処理方式、計画人口、戸数	毎年更新
	農業集落排水施設	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	処理方式、計画人口	毎年更新
	し尿処理施設	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	処理方式、規模	毎年更新
	コミュニティプラント	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	処理方式、規模、汚水処理量	毎年更新
	下水汚泥コンポスト施設	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	投入汚泥量、コンポスト原料	更新なし
畜産起因	畜産農家	地図データ +テーブル結合	ポリゴン	各畜産別頭数	5年更新
	牧場	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	畜産保健衛生所	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	動物園、サファリパーク	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
医療起因	ペットショップ	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	病院	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	診療科目、病床数	毎年更新
	診療所	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	動物病院	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	更新なし
レクリエーション起因	保健所	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	キャンプ場、温泉、プール	住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
災害要因	活断層	そのまま取込可能	ライン	活断層	更新なし
	地滑り地域	ネットからダウンロード そのまま取込可能	移動体:ポリゴン 滑動体:ライン 移動方向:ポイント	移動体の輪郭構造、傾斜区分	更新なし
	地形・地盤	そのまま取込可能	ポリゴン	傾斜、起伏量、標高	更新なし
水道	水道施設、取水位置	デジタルイズ +属性入力	ポイント	水道区分、水源の種類	5年更新

表3 鳥取県内の汚染要因数

要因種別	原因	該当数
し尿起因	下水処理場	37
	農業集落排水処理施設	197
	漁業集落排水処理施設	8
	し尿処理施設	6
	コミュニティプラント	7
	下水汚泥コンポスト施設	1
畜産起因	牛(頭)	13635
	豚(頭)	2205
	採卵鶏(百羽)	659
	ブロイラー(百羽)	6440
	牧場	26
	畜産保健衛生所	3
医療起因	動物園、サファリパーク	0
	ペットショップ	84
	病院	46
	診療所	241
	動物病院	43
レクリエーション起因	医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設	3
	保健所	5
	キャンプ場	7
	温泉	35
災害要因	プール	19
	活断層	22
	地滑り地域	8275
	地形・地盤	3119
		0