

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（海外学術調査）

研究期間：2014～2016

課題番号：26303013

研究課題名（和文）ポストMDGsに向けた新たな水へのアクセス指標の開発と水アクセス改善手法の提案

研究課題名（英文）Development of alternative indicators for water access and proposal of measures to improve water access towards post-MDGs

研究代表者

滝沢 智（Takizawa, Satoshi）

東京大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：10206914

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,200,000円

研究成果の概要（和文）：ハノイでは家庭内水処理装置（HWT）により、安全な飲料水へのアクセスが8%～20%改善した。タイのチェンマイでは、逆浸透膜を用いたRO-HWTにより地下水中のフッ素を90%以上除去できた。ネパールのカトマンズでは、間歇給水（IWS）により約半数の住民が週に6時間以下しか水道を利用できず、水道水の半数が大腸菌に汚染されていたが、HWTにより安全な水の利用率を42%から80%に向上できる。ジャカルタでアンケート調査を行ったところ、水道水を使用しないゼロ顧客は、沿岸部の地下水の塩水化が進んだ地域では少なく、内陸部の地下水が利用できる地域ではゼロ顧客の割合が高いことがわかった。

研究成果の概要（英文）：It was found that household water treatment (HWT) can increase the access to safe drinking water in Hanoi by 8% to 20%. A HWT using reverse osmosis membrane can remove fluoride in groundwater in Chiang Mai. In Kathmandu, Nepal, a half of the residents can use piped water less than 6 hours per week, and a half of the piped water samples were contaminated by E. coli. However, HWTs can increase the access to safe drinking water from 42% to 80%. It was revealed by a questionnaire survey that the zero customers, who do not use piped water even they are connected, are small in their numbers in coastal areas, but a large proportion of the residents are zero customers in inland areas where they can use groundwater.

研究分野：土木工学・土木環境システム

キーワード：安全な飲料水 IWS 大腸菌 家庭内水処理 浄水処理 consumers' perception フッ素 飲料水水質

1. 研究開始当初の背景

(1) 国連ミレニアム開発目標(MDGs)では、目標7cにおいて2015年までに安全な水へのアクセスができない人口を半減する、という目標を掲げている。2012年の共同モニタリングレポート(JMP)では、1990年から2010年の間に、世界で20億人の人々が新たに安全な飲料水へのアクセスを得て、2010年には世界平均としては目標を達成したと報告している。しかし、未だに約8億人が安全な飲料水へのアクセスを得られず、サブサハラ地域や太平洋島嶼国では目標の達成が困難である。また、人口が急速に増加している開発途上国の都市では、安全な水へのアクセスが低下しており、地域により達成状況に大きな差があることが問題として指摘されている。

また、「安全な飲料水」の代替指標として、目標7cの評価に使われている「改善された水源からの飲料水」は、以下の問題点が指摘されている。

飲料水の水質を考慮せず、安全な飲料水とは言えない

家庭内で利用可能な水の量を考慮していない

(水道の)給水時間を考慮していない
水源からの距離やアクセスに必要な時間を考慮していない

そのため、WHOとUNICEFは、2004年から2005年にかけて「迅速飲料水水質評価(Rapid Assessment of Drinking-Water Quality (RADWQ))」をアフリカの4ヶ国で実施した。Bain R.ら(2012)は、これらの水源水質情報のうち、糞便性大腸菌、砒素、フッ素、硝酸性窒素のデータを用いて、改善された水供給のWHOの飲料水ガイドラインへの適合性を評価したところ、飲料水ガイドラインに適合したのはわずかに55%であった。また、中国での飲料水水質基準適合率を調査した報告書によると、水質基準適合率はJMP報告の2/3であった。このように、改善された水供給と安全な飲料水とは大きな差異があることが知られているが、その違いに関する論文や報告は上記の2つのみであり、また、十分に信頼できるデータも乏しい。また、利用可能な水量や、水道の給水時間などのサービスの質を考慮した指標は存在しない。

(2) 都市で用いられる水源も、急速に多様化している。JMP2012によると、水道の普及が進む一方で、掘り抜き井戸や湧水、水売りに依存する人口も拡大しつつある。特に、ボトル水を主な飲料水とする人口は、1990年には都市人口の約1%であったが、2010年には約6%、1億9,200万人へと急速に拡大しており、ボトル水の役割を再検討する必要がある。また、WHOは2012年に開催した専門家会議の報告で、家庭内の水処理と安全な貯留(HWTS)の役割を再評価し、HWTSは下痢症などによる子供の死亡率を低減させ、

HIV感染者の病状の進行を緩和する効果があると指摘し、2025年までにHWTSの世界の普及を推進するための目標を設定すべきであるとしている。しかし開発途上国におけるHWTSの使用実態は明らかでない。申請者らが、これまで八ノイ市で行った小規模な実態調査(約150世帯)によると、HWTS装置の普及は都市と農村で異なり、砂ろ過、セラミックろ過などから、逆浸透膜処理など、多様なシステムが普及しつつある。また、処理能力にも大きな違いがあり、除去対象物質に対して適当な処理技術が使われていない事例も見られた。

2. 研究の目的

(1) 飲料水の質とサービスの質を考慮した、MDGsで使われた「改善された水供給」と水質的に安全な水供給との差異を明らかにするため、複数の調査対象国における水質報告書、論文、申請者の海外調査研究の成果、および本研究における現地調査により収集した飲料水水質情報をもとに、差異を発生させる主な要因を把握する。それをもとに差異の推定方法を開発し、さらに水供給サービスの質を評価する手法を開発する。

(2) 現在もしくは近い将来に安全な飲料水へのアクセスができない人々に対して、安全な飲料水を供給する方策を、従来の整備手法にこだわらず新たな水道計画論の立場から提示する。開発途上国の都市域において、多様な水供給が行われていることを背景として水不足や水道の未普及・間欠給水などがあり、その実態調査を行う。特に、HWTSや、ボトル水の普及と水質について、複数の調査対象国において調査を行う。これらの調査結果をもとに、飲料水とそれ以外の用途に使う水を別々の水源から入手するような水利用形態の問題点を抽出する。また、都市部における地下水水質の特徴を把握し、汚染の問題を明らかにするとともに、各種のHWTS処理機器による処理性能や貯留層での水質汚染を明らかにする。このように、多様な水供給が行われている開発途上国の都市を対象に、それらの安全性や処理性能を調査した研究例はほとんど見られず、独創的な研究成果が期待できるとともに、今後の安全な飲料水供給における目標設定に重要な影響を与えることが期待できる。

これらの成果をもとに、従来の水道管路による水供給とそれ以外の水供給とを組み合わせ、新しい水供給計画の策定手法を提案する。

3. 研究の方法

(1) MDGs対象国におけるMDGs達成状況のレビューと、MDGs未達成地域の特徴・原因の解析

・MDGs未達成地域の解析

本研究では、これまでに公表されたJMCレポート

ートやその他関連する報告をもとに、安全な飲料水へのアクセスが低下している国や地域としてネパールのカトマンズおよびインドネシアのジャカルタを選び、それらの国でアクセスが低下している原因について検討を行う。

また、これらの都市について、公共水道の状況、代替水源の利用率などを、各国の情報源から入手し、また、人口動態や国民経済、貧富の格差、スラム人口の割合などの社会経済データと組み合わせることで、アクセス低下の原因を解明する。このうち調査対象国や都市において現地調査を実施し、水利用の実態を調査するとともに、アクセス低下の具体的な状況を把握する。

(2) 複数の調査対象国における、改善された水供給と安全な水供給との格差の評価
MDGs の目標（安全な飲料水の代替指標としての「改善された飲料水」）の指標としての問題点を文献・資料をレビューし、安全な飲料水との差異を引き起こす原因を検討する。迅速飲料水水質評価（RADWQ）では、糞便性大腸菌、砒素、フッ素、硝酸性窒素の4つの指標について、アフリカ4か国でWHO水質基準と比較した。しかし、これまで、アジア・太平洋諸国において、同様な調査を行った事例はなく、また、調査指標もこれら4項目では十分とは言えない。そこで本研究では、ベトナム、タイ、ネパール、インドネシアなどにおいて、これら4項目に加えて、残留塩素、消毒副生成物、DOC、アンモニア、鉄などの項目を加えて改善された水供給と安全な（水質基準に適合した）水供給の差異について評価する。

(3) 家庭用の水処理装置（HWTS）の普及状況と、それらの処理性能・水質評価、安全な飲料水供給のための課題抽出と技術的な解決策の検討

・家庭内水処理と貯留装置（HWTS）の評価
WHOは水道普及までの暫定的な方策としてHWTSを推奨しているが、HWTSを安全な水供給方法と位置付けるには、安価で入手可能だけでなく、正しい方法で使われているかどうかを評価する必要があるとしている。

そこで本研究では、上記の対象国において、HWTSの種類と普及状況、使用状況、処理性能などについて調査を行い、安全な飲料水に合致しているかの評価基準を提案する。同時に、各国で文献・データの収集を行う。

また、多くの国でボトル水が飲料水として普及していることから、その普及状況、水質などの課題について、現地ヒアリング、文献データの収集、並びにサンプル分析を行う。これらの使用実態の調査を通じて、安全な飲料水供給においてボトル水をその一つと位置づけられるかどうか評価し、課題を整理する。

2) 水道の水質及びサービスの質に関する評

価

途上国の都市水道や集落水道のほとんどは、水道水水質基準を満たしておらず、直接飲用ができない状況にある。また、間欠給水も広く行われている。水道のサービスの質を測る尺度としては、業務指標（PI）や、世界銀行が提示した指標がある。そこで、本研究においても、これらの指標を参考にしつつ、カトマンズ、ジャカルタにおいて水道サービスの現状と市民の意識を調べる。

4. 研究成果

(1) 文献調査および現地調査

文献・資料のレビューにより精査し、改善された飲料水と安全な飲料水との差異が生じる原因を検討した。また、WHOとUNICEFの迅速飲料水水質評価（RADWQ）では、糞便性大腸菌、砒素、フッ素、硝酸性窒素の4つの指標を用いて、WHOの飲料水基準への適合性について検討した事例がある。そこで、本研究ではこの事例を参考に、調査対象地域に固有の飲料水水質に関する水質問題を精査し、各地域に合った水質調査指標を採用した。すなわち、タイのチェンマイでは、フッ素による健康被害が知られていることから、住民の水利用実態に関するアンケート調査を行うとともに、フッ素と大腸菌についての調査を行った。

その結果、フッ素濃度が高い地下水を利用している住民が相当の割合で存在することや、安全とされているボトル水中にもフッ素濃度が高いものがあることが明らかとなった。また、ベトナムのハノイ市では、家庭内での浄水装置（PoU）の普及状況を考慮した、安全な水の普及率について、大腸菌と砒素を指標とした測定方法を検討した。

(2) ベトナム ハノイ市における現地調査

ベトナムのハノイ市の5地域におけるアンケートデータと12地域における水質調査データを用いて、改善された水源を用いた家庭における安全な飲料水の供給率を推定した。指標には、大腸菌とヒ素を用い、また、家庭内での浄水装置（HWT）による安全な水の普及率の向上について推定した。その結果、ハノイの都市部、郊外部、農村部の3地域において、急速な人口増加が見られる郊外部で安全な飲料水へのアクセス率が最も低いことが明らかとなった。また、HWTを使用することにより、安全な飲料水へのアクセスが、8%~20%改善することが示された。フッ素による健康被害が発生しているタイのチェンマイでは、飲料水中のフッ素を除去するため、逆浸透膜を用いた家庭用小型浄水装置（RO-HWT）を用いて、フッ素の除去性能を評価した。その結果、（RO-HWT）によるフッ素の除去率は90%以上であり、安全な飲料水を供給するための手段として有効であることが確認できた。

(3) ネパール カトマンズ市における現地調査

ネパールの首都カトマンズ市は、給元気な人口増加と水不足により間歇給水 (Intermittent Water Supply, IWS) が続いている。カトマンズ市において、369 戸を対象に、水道水の供給時間や代替水源確保の状況、住民の水道サービスに対する意識などの調査を行った。また、水道水や、井戸水、ボトル水、タンカーによる給水などの水質分析を行った。その結果、水道水サンプルの約半分 (n=13) が大腸菌に汚染されていた。また、全ての水道水から、遊離残留塩素が検出されず、平均 0.24mg/L の結合塩素が検出されていた。家庭内水処理装置により処理した水からは大腸菌は検出されず、家庭内水処理装置を設置することで、安全な水の利用率を 42% から 80% に向上できることが推定された。また、水供給時間の偏りを示すために、アンケートから得られた 1 週間あたりの水供給時間をローレンツ曲線で表し、ジニ計数により定量化した。その結果、同じ給水区域内でも家庭ごとの水供給時間に大きな偏りがあり、また、給水区域の間にも偏りがあることが明らかとなった。水道水の代替水源としては、タンカーによる給水が増加しつつあり、高い代金と、低い水質の水を使わざるを得ない状況にある。このような状況において、住民は、水道水の水質の改善と、定期的な供給を期待しており、水道事業体は、これらを改善することが重要であることが示された。

(4) インドネシア ジャカルタ市における現地調査

インドネシアの首都ジャカルタ市では、水道に接続していても、水道水をまったく使用しないゼロ顧客が高い割合で存在する。ゼロ顧客の実態を調査するため、ジャカルタの 3 つの水道水給水区域において、水の使用状況に関するアンケート調査を行った (n=208)。その結果、ゼロ顧客は、給水区域により大きな違いがあり、沿岸部の地下水の塩水化が進んだ地域では、水道水を主な飲料水源としているためにゼロ顧客が少なく、内陸部の地下水が利用できる地域ではゼロ顧客の割合が高いことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

1. Bibas Guragai, Satoshi Takizawa, Takashi Hashimoto, and Kumiko Oguma, Effects of Inequality of Supply Hours on Consumers' Coping Strategies and Perceptions of Intermittent Water Supply in Kathmandu Valley, Nepal,

Science of the Total Environment, 599-600, 431-441, 2017. (査読有り)

2. Hideki Osawa, Jenyuk Lohwacharin, Satoshi Takizawa, Controlling disinfection by-products and organic fouling by integrated ferrihydrite-microfiltration process for surface water treatment, *Separation and Purification Technology*, 176, 184-192, 2016. (査読有り)

3. Hiroshi Sakai, Shunsuke Tokuhara, Michio Murakami, Koji Kosaka, Kumiko Oguma, and Satoshi Takizawa, Comparison of chlorination and chloramination in carbonaceous and nitrogenous disinfection byproduct formation potentials with prolonged contact time, *Water Research*, 88, pp. 661-670, 2016. (査読有り)

4. Osawa H., Lohwacharin J., Takizawa S., Removal of precursors of disinfection byproducts by hybrid ferrihydrite adsorption-membrane filtration process, 土木学会論文集 G (環境), J. JSCE, Ser. G(Environmental Research), Vol. 72, No. 7, III_79-III_86, 2016. (査読有り)

5. 松原康一, An Thuan Do, 黒田啓介, 滝沢智, ハノイ市における飲料水の普及率と家庭での水処理による水質改善効果の推定, 土木学会論文集 G (環境) 第 71 巻 7 号, III-69-III-71, 2015. (査読有り)

[学会発表](計 10 件)

1. 兼澤真吾, 橋本崇史, 滝沢智, 高濁度河川水中の粒子が膜ファウリングの形と粒子除去性に与える影響, 日本水環境学会年会, 熊本大学 (熊本県, 熊本市), 2017.3.17

2. 大澤英輝, Jenyuk Lohwacharin, 滝沢智, フェリハイドライト添着粉末活性炭を用いた溶存有機物の吸着除去における原水中のリン酸の影響, 日本水環境学会年会, 熊本大学 (熊本県, 熊本市), 2017.3.17

3. 酒井 宏治, 土屋 美樹, Wongrueng Aunnop,

橋本 崇史、Wattanachira Suraphong、滝沢 智、
地下水フッ素汚染地域における住民の水選
択、日本水環境学会年会、熊本大学(熊本県、
熊本市)、2017.3.17

4. Patricia Gunawan, Satoshi Takizawa, Takashi
Hashimoto , Kumiko Oguma , Causes to high
ratio of zero customers in Jakarta's water supply
system, 日本水環境学会年会、熊本大学 (熊
本県、熊本市)、2017.3.15

5. 前田充登、徳島市タイ・ランブン県におけ
るフッ素除去を目的とした家庭用小型浄水
装置導入の検討、第 50 回水環境学会年会、
アスティ徳島 (徳島県、徳島市) 2016.3.17

6. 松原康一、ハノイ市における安全な飲料水
の普及率と家庭での水処理による水質改善
効果の推定、第 52 回環境工学研究フォーラ
ム、日本大学 (福島県、郡山市)、2015.11.27

7. Hiroshi Sakai, Pierre Callaud, Koji Kosaka and
Satoshi Takizawa, Degradation of 9
N-Nitrosamines in water by UV irradiation,
Korean Society of Environmental Engineers,
IEEC 2015 Conference, Busan (Korea) ,
2015.10.30

8. Satoshi Takizawa, Spontaneous water-solute
separation principles for drastic reduction of
energy consumption for water treatment
processes, Conference on physics, chemistry and
biology of water 2015、ヴァルナ(ブルガリア)、
2015.10.1

9. 酒井 宏治、Comparison Between
Chlorination And Chloramination In The C-DBP
And N-DBP Formation Potentials、IWA-ASPIRE
北京 (中国) 2015.9.22

10. Hiroshi Sakai, Shunsuke Tokuhara, Michio
Murakami, Koji Kosaka, Kumiko Oguma,
Satoshi Takizawa, Comparison between
chlorination and chloramination in the C-DBP
and N-DBP formation potentials, International
Water Association, 6th IWA-Aspire Conference,
Beijing, (China) , 2015.9.22

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
なし

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

滝沢 智 (TAKIZAWA SATOSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号 : 10206914

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者

ロウワチャリン ジェニユック
(LOHWACHARIN JENYUK)
東京大学・大学院工学系研究科・特任助教
研究者番号 : 60709517

(4) 研究協力者

松原康一 (MATSUBARA KOUICH)
(株) 日水コン