

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601
研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2010 ～ 2012
課題番号：22404012
研究課題名（和文） 気候変動によるアジアの脆弱な水供給システムへの影響評価手法の確立
研究課題名（英文） Evaluation of the climate change impacts on vulnerability of water supply systems in Asia
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

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ベトナムのサイゴン川流域にあるホーチミン市と、ホン川流域にあるハノイ市を対象として、気候変動による水供給システムの脆弱性と適応力を評価した。その結果、サイゴン川では、渇水期の塩水遡上、硫酸酸性土壌からの高濃度のマンガン流出などの問題が、気候変動により悪化する可能性があることが明らかとなった。また、ハノイ市では、地下水、雨水、水道水などの複数の水源を利用する家庭が多く、水質問題から浄水器が必要であるものの、複数の水源を組み合わせることで、気候変動に対して適応力を高めることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The vulnerability and adaptation of water supply systems in Ho Chi Minh City (HCMC) in the Saigon River Basin and Hanoi City in the Red River Basin were evaluated in this study. In the Saigon River Basin, salt water intrusion and manganese leaching from acid sulfate soil will be exacerbated by climate change. In Hanoi, multiple sources of water are used in households including groundwater, rain water and tap water. Although it is necessary to use point-of-use water treatment devices, using multiples water sources may be an effective measure to mitigate the climate change impacts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2011 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2012 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	12,800,000	3,840,000	16,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：都市水システム、ベトナム、ハノイ、ホーチミン、地下水、ヒ素、POU、水処理

1. 研究開始当初の背景

モンスーンアジア地域の水供給は、雨季と乾季の水資源利用可能量の大きな変動による水不足に加えて、降水量の変動による渇水

の頻発、水源水質の汚濁、人口増加による水需要の増大、水関連インフラの脆弱性など、多くの不安定要素や課題がある。また、小規模な水供給システムに依存している人口の

割合が高いことに加えて、都市近郊でも汚染された池の水を沈澱などの簡易な処理をしてそのまま利用したり、水売り業者から買水をしている事例がある。

また、沿岸域の低平地が多く、そこに膨大な人口を抱えているが、水資源開発が遅れていることや、水質汚濁が激しいこと、上流部での取水により海水の浸入による塩水化が進行しているため、比較的大きな河川がある場合でも安定した水供給システムが構築できていない。さらに沿岸域では、頻繁に洪水が起こることから、水供給に影響が出ることが知られている。

一方、内陸部においては、河川の水量が不安定で乾期には十分な水資源がなく、水道用水と他の用途との争いが生じている。さらに産業開発やお茶、花卉栽培、養殖漁業、牧畜などの影響により水源水質の汚濁も深刻な問題となっている。このように、アジア地域では、気候変動による降水量の変化や水質変動、人口増加などによる水需要の増大などに対して脆弱な水供給システムに依存している人口が極めて多い。さらに、海面の水位が上昇による影響は、先進国よりもより深となることが代ロスされている。

2. 研究の目的

これらのことを踏まえて、本研究は、以下の項目を目的とする。

- (1) アジア地域の脆弱な水供給システムを対象に、脆弱性の要因を抽出するとともに、それらの要因が水供給の不安定化を引き起こす原因と可能性を評価する。
- (2) 将来の気候変動などの外力が、水供給システムの脆弱要因に及ぼす影響を評価する。
- (3) 影響低減のための技術的ならびにマネジメントの方策を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、サイゴン川流域のホーチミン市、およびホン川流域のハノイ市を対象に、気候変動による水供給システム（水道）への影響の特徴を把握するとともに、その適応策を検討した。即ち、水供給プロセスの(1)水源、(2)浄水処理、(3)給配水の各段階において気候変動による影響を同定するとともに、水管理や水供給の制度的・経営上の問題を抽出した。また、水利用者である家庭の水供給変動への適応能力を評価するため、現在の水利用状況をヒアリングと水質調査、並びに水処理システムの利用状況を調査した。最後に、これらの調査結果をまとめて、それぞれの調査対象流域と都市における将来の気候変動適応策をまとめた。

4. 研究成果

はじめにサイゴン川では、上流のダムにおいて養殖漁業が盛んである一方、農業用水を大量に供給する必要がある。そのため渇水期には塩水の遡上が起こり、水道の取水地点にまで達することがわかった。さらに、サイゴン川流域には、高濃度のマンガンを含む硫酸酸性土壌が分布し、雨季には、降雨とともに流出し、水源中のマンガン濃度を上昇させることが明らかとなった。また、地下水は、水道水源や工業用水として使われているが、地下水においても塩分濃度の上昇が観測されるとともに、地下水位の低下がみられたこれらの要因を総合的に評価したところ、サイゴン川流域の水道システムは、気候変動に対して極めて脆弱であることが明らかとなった。

このため、サイゴン川流域においては、気候変動への対策が最も急がれるべきであり、また、総合的な対策をとる必要がある。塩水遡上を防止するため、上流域における水の貯留能力を高めるとともに、渇水期における流量確保のためのダム制御が必要である。さらに将来の水需要増加を見込んだ場合には、他水系からの導水・送水も検討が必要である。

また、ベトナムのハノイ地域を対象に、水源、浄水処理方式、および給排水システムの調査を行ない、以下の結果が得られた。

(1) 水源の脆弱性： 地下水、表流水、雨水などの複数の水源を利用しているが、これは水道システムが未普及であるか、あるいは水量・水圧が十分でなく、需要を満たしていないためである。地下水は、鉄、アンモニア、有機物、砒素などに汚染されており、これらの汚染物質の除去が十分でない水供給システムも見られた。

(2) 浄水処理の脆弱性： 特に、集落単位で管理をしている水道施設の運転管理が十分でなく、施設の老朽化や、不適切な維持管理により、処理水質が低下していることが確認された。これに対して、住民からは多くの不満が寄せられている。さらに、家庭では雨水、地下水などを利用しているが、無処理での利用や、砂ろ過などが多く用いられているが、その維持管理も十分でなく、砂の洗浄や交換はほとんど行われていないか、年に一度程度の頻度であった。

(3) 給配水システムの脆弱性： PVC 給水管により露出配管されていることから、直射日光を受けた場合の紫外線による劣化が懸念された。また、露出配管であることから、工事や交通による破損事故が懸念された。

さらに、ベトナムのハノイ地域において、約 170 世帯の水利用状況について訪問調査を実施した結果、家庭内での水利用について以下のことが明らかになった。

- 1) まず、ハノイ郊外の農村部の集落で

ある Tien Yen (TY) では、全ての世帯が地下水を利用するとともに 67%の世帯では地下水以外の水源、たとえば雨水を併用していた。90%の世帯では砂ろ過設備を有しており、逆浸透 (RO) 処理設備があるのは 18%であった。

2) 都市化が進行中の集落である NgocHoi (NH) では、水道の普及率が低いため、水道のみを利用する世帯は 39%であり、47%の世帯は二つの水源を、14%の世帯は3つの水源を利用していた。55%の世帯は家庭用の地下水を利用しており、そのうち 73%は砂ろ過設備を備えていた。

3) 都市化が進んだ Tan Mai (TM) では、水不動普及率が 100%であるが、58%の世帯が逆浸透膜やセラミック膜などの家庭用浄水器を利用していた。この割合は、TY(18%)や NH(37%) よりも高く、都市化が進み水道の普及率が高まるにつれて家庭用の浄水器を利用する割合が上昇していた。これは、水道に対する顧客の満足度が、農村部 (68%) に比べて、都市化が進行しつつある NH(48%)や、都市化が完了した TAM(50%)と低かったことが、影響していることが考えられた。家庭用浄水器による砒素の除去率は、RO 膜処理で 65%~95%以上、砂ろ過で平均 63%の除去率であったが、施設によってばらつきが大きかった。

これらの調査結果をまとめると、ホン川流域のハノイ市においては、急速な都市域の拡大と都市人口の増加に見舞われており、これまでの地下水を中心とした水供給システムから、河川水を中心とした水供給システムへの転換が迫られている。しかし、将来の気候変動はホン川の流況を不安定化させ、水質も変動させる要因となる。このため、ハノイ市においては、持続可能な地下水利用と、河川水の利用を組み合わせた水利用計画を作成することが重要である。特に地下水については、都市用水の利用者に計上されていない小規模な利用者が多く、それらの実態を把握し、将来の水道水への転換の予測を行うことが、将来の水需要の推計に不可欠である。さらに、それらの小規模地下水利用者の、水質、水量面での安全性の確保のため、より広範な実態の調査と、それに基づく、地下水利用ガイドラインの作成が必要である。

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 10 件)

- (1) Phetrak, A., Lohwacharin, J., Watanabe, N., Murakami, M., Sakai, H., Oguma, K., Takizawa, S., Competitive removal of dissolved organic matter (DOM) and inorganic anions by anion exchange resins (AERs), *Water Science and Technology*, 査読有, 12. 5, pp.630-036, (2012)
- (2) Yang, Y., Takizawa, S., Sakai, H., Murakami, M., Watanabe, N., Removal of organic matter and phosphate using ferrihydrite for reduction of microbial regrowth potential, *Water Science and Technology*, 査読有, 66.6, pp.1348 - 1353, (2012)
- (3) Ishida, T., Takizawa, S., Watanabe, N., Murakami, M., Sakai, H., Oguma, K., Optimum operation of desalination plant to minimize power consumption and water shortage risks in Okinawa, Japan, *Desalination and Water Treatment*, 査読有, 2012. DOI: 10.1080/19443994.2012.714895
- (4) Kuroiwa, M., Masuda, T., Omura, T., Wongrueng, A., Oguma, K., Sakai, H., Murakami, M., Takizawa, S., Membrane fouling in seawater desalination processes caused by harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*, *Desalination and Water Treatment*, 査読有, 2012. DOI: 10.1080/19443994.2012.715072
- (5) Nguyen Thi Van Ha, Takizawa S, Oguma K, Nguyen Van Phuoc, Sources and leaching of manganese and iron in the Saigon River Basin, Vietnam, *Water Science and Technology*, 査読有, Vol. 63, No. 10, pp. 2231-2237, 2011.
- (6) Keisuke Kuroda, Michio Murakami, Kumiko Oguma, Yuki Muramatsu, Hideshige Takada, Satoshi Takizawa, Assessment of groundwater pollution in Tokyo using PPCPs as sewage markers, *Environmental Science and Technology*, 査読有, Vol. 46, No. 3, pp. 1455-1464, 2012. DOI: 10.1021/es202059g
- (7) Huy, N. V., Murakami, M., Sakai, H., Oguma, K., Kosaka, K., Asami, M and Takizawa, S., Occurrence and formation potential of N-nitrosodimethylamine in groundwater and river water in Tokyo, *Water Research*, 査読有, Vol. 45, pp. 3369-3377, 2011. DOI: 10.1016/j.watres.2011.03.053
- (8) Nguyen Thi Van Ha, Takizawa S, Oguma K, Nguyen Van Phuoc, Sources and leaching of manganese and iron in the

Saigon River Basin, Vietnam, Water Science and Technology, Vol. 63, No. 10, pp. 2231-2237, 2011.

- (9) 村上道夫、滝沢智、フッ素系界面活性剤の水環境汚染の現状と今後の展望、水環境学会誌、査読有、Vol. 33, pp. 103-114, 2010
- (10) 高松達朗、酒井宏治、小熊久美子、村上道夫、小坂浩司、浅見真理、滝沢智、N-ニトロソジメチルアミンの紫外線分解と有利塩素添加による再生成の評価、環境工学研究論文集、査読有、Vol. 47, pp. 127-133, 2010

[学会発表] (計6件)

- (1) Do T. A., Kuroda K., Hayashi T., Tran T. V. N., Oguma K., Takizawa S., Removal of arsenic and bacteria by point-of-use (POU) water treatment systems in Hanoi City, Vietnam, Environmental Health 2013, 2-6 March, Boston, USA.
- (2) Do T. A., Kuroda K., Takizawa S., Hayashi T., Tran T. V. N., Oguma K., Household survey of installation and treatment efficiency of point-of-use water treatment systems in Hanoi, Vietnam. The 9th International Symposium on Water Supply Technology, November 20-22, 2012, Yokohama, Pacific Yokohama.
- (3) Do T. A., Kuroda K., Tran T. V. N., Oguma K., Hayashi T., Takizawa S., Household survey on water sources and point-of-use water treatment systems in Hanoi, Vietnam. The 10th Southeast Asian Water Environment Symposium, November 8-10, 2012, Hanoi, Vietnam.
- (4) Yang Y, Sakai H., Watanabe N, Lohwacharin J, Murakami M., Oguma K., Takizawa S., Removal of dissolved organic matter and phosphate by ferrihydrite adsorption for drinking water treatment, IWA Aspire 2011, Tokyo 2011.10.3-5.
- (5) Yang Y, Takizawa S., Sakai H., Murakami M., Watanabe N, Removal of organic matter and phosphate using ferrihydrite for reduction of microbial regrowth potential, IWA Specialist Conference on Water Reuse 2011, 2011.9.26, Barcelona, Spain.
- (6) 錦織浩志、村上道夫、酒井宏治、小熊久美子、高田秀重、滝沢智、雨天時における入間川のフッ素系界面活性剤の実態調査、環境化学討論会、2010.6.21、中部

大学 (名古屋市)

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

小熊 久美子 (OGUMA KUMIKO)
東京大学・大学院工学系研究科・講師
研究者番号：00361527

(3) 連携研究者

酒井 宏治 (SAKAI HIROSHI)
東京大学・大学院工学系研究科・特任助教
研究者番号：70533123

村上 道夫 (MURAKAMI MICHIO)
東京大学・総括プロジェクト機構 (水の知)・特任助教
研究者番号：50509932