ネパール・カトマンズでの挑戦

中村高志^{1*}・石平 博¹・原本英司¹・遠山 忠¹・新藤純子¹・
西田 継¹・Narendra Man Shakya²・風間ふたば¹

Challenges in Kathmandu, Nepal

Takashi NAKAMURA^{1*}, Hiroshi ISHIDAIRA¹, Eiji HARAMOTO¹, Tadashi TOYAMA¹,
Junko SHINDO¹, Kei NISHIDA¹, Narendra Man SHAKYA² and Futaba KAZAMA¹

1. はじめに

安全な水の確保は21世紀における世界的な緊急課題として周知の事実であり, WHO and UNICEF (2017) は, 世界人口のおよそ30%の人が自宅で安全な水を手入れできない状況にあることを報告した。特に開発途上国においては水インフラの整備が人口増加に追いつかず, 多くの人々が安全な水やトイレへのアクセスができていないため, これまでに多くの先進国による大規模な浄水施設や下水処理施設への投資または供与がなされている。我が国もまた途上国への水インフラの提供を行ってきた。しかしながら, 大規模な上下水道施設の維持・管理が現地で継続できず, 投資に見合う効果が得られていない事例も少なくない。

ネパール連邦民主共和国は, インドと中国に囲まれた南アジア内陸国のため大規模な貿易ができず, 経済的水準は極めて低い。国内総生産(GDP) 221億ドルは, 調査された世界188カ国中107位であり, 後発開発途上国に属している。その首都カトマンズは, 平均標高1350 m, 面積400 km²で標高2,000 m超の山に囲まれた山間盆地である。山麓部には農地が分布し, 中央部の平

地には市街地が形成されている。盆地内の都市部と盆地外の地方部の経済・生活格差は著しく, 貧困に苦しむ地方からカトマンズへの急激な人口流入が続いており, 現在では盆地内の人口は200万人を超えているとされている。この人口集中に対して水インフラの配備は追いつかず, 水供給と需要のギャップや, 下水と衛生関連施設のサービスが年々悪化し, 安全な水へのアクセスの向上が強く望まれている。このニーズに応えるべく, 我々山梨大学大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター(ICRE: 通称あいくれ)は, 2014年から国際協力機構(JICA)と科学技術振興機構(JST)の支援による地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)「微生物学と水文水質学を融合させたネパールカトマンズの水安全性を確保する技術の開発」をスタートさせた。この事業は, カトマンズ盆地を舞台に持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals: SDGs)の一つである目標6「すべての人々に水と衛生へのアクセスと持続可能な管理を確保する」の達成を目指し, 自然界の水文・水質プロセス理解や問題抽出と, 具体的な問題解決策を対象地域に実装する道筋の提案までを一体化したプロジェクトである。本報では, カトマンズの水事

1 山梨大学 大学院総合研究部附属 国際流域環境研究センター Interdisciplinary Centre for River Basin Environment, University of Yamanashi

2 トリブワン大学工学部 Institute of Engineering, Tribhuvan University

* 責任著者

情，特に水安全性の問題とともに，その改善に向けた我々のチャレンジを紹介したい。

Ⅱ. カトマンズ盆地の水事情

カトマンズの首都部では，およそ91%の世帯に上水道設備が接続されているものの，慢性的な水不足により一人あたりの上水の可能な使用量は，雨季で37 L/日/人，乾季に至っては29 L/日/人とどまっている（水システム国際化研究会，2016）。UN and WHO（2010）によると「人間らしい暮らしをするために必要な水の量」は50～100 L/日/人とされており，カトマンズの限られた水道水供給量が人々の暮らしに及ぼす影響の大きさが想像できる。一般的な家庭では年間を通じて水道以外の水源に頼らざるを得ず，個人やコミュニティで所有・管理されている浅井戸は年間を通じて使われ，代替水源の65%がこれら浅層地下水で賄われている（水システム国際化研究会，2016）。その他，多くの人々は，共同水場（ストーンスパウト）で列を作ったり，民間業者の給水車や20 Lのボトルで配達されるジャー・ウォーターなどの市場水をかき集めるようにして需要を満たしている。しかしながら，都市域における主要な代替水源は，下水の漏洩に伴う窒素ならびに大腸菌による汚染が報告されており（Shrestha et al., 2018, 中村ら，2015, Warner et al., 2008）安全な水とはいえないのが実情である。

こうした中，ネパール政府は，首都カトマンズの水道水の供給量を上げるため盆地に隣接する流域から26 kmのトンネルによって導水を行うメラムチ給水事業をアジア開発銀行を始めとする各国の融資により進めている。この計画では，給水量を飛躍的に増加させるものの，人口増加を考慮すると給水率は概ね全人口の7割になると試算されている。特に農地と住宅地が散在する郊外への導水の優先順位は低く，このような地域の住民は導水事業後も安全性の低い水道以外の水源を継続利用しなければならない見込みである。

こうした水道による給水量が実際の需要量に届かない地域においては，都市域の大規模な水インフラの整備の他に，分散型の浄水装置による水安全性の確保が重要であると考えている。

Ⅲ. 束になって取り組むカトマンズの水問題

我々のプロジェクトでは，大規模で広域的な水インフラではフォローが困難な地域に安全な水を供給するため，(1) 自立・分散・小規模（Locally-fitted, Compact and Decentralized: LCD）水処理システムの開発，(2) LCD水処理システムを優先的に配備すべき地域の抽出のための，水量，水質，微生物診断結果を鳥瞰できる水安全性マップの作成，(3) それらを社会実装するまでの社会経済学的な評価に取り組んでいる。これらの取り組みは，両国の研究者らで構成される水処理開発班，水量診断班，水質診断班，微生物診断班，社会・経済評価班に加え，社会実装を実現するため研究者の他，現地の水管理実務者や政府職員らによるタスクフォースの6チームが協働しながら進めている。プロジェクトで得られたデータおよび知見はまだ未公開のものや解析途中のものが多いため，本稿では現地調査の様子と水質に関わる状況の概要を紹介する。

水安全性マップの作成においては，カトマンズ盆地をカバーするように浅井戸の広域調査が必要であり，この作業はカウンターパート（Counterpart: CP）の協力なくしては実現不可能であった。そこで最初の2年間（2014年と2015年）は水質診断班のCPであるトリブワン大学・理学部・地質学科の職員ならびに大学院生らに採水方法や現地観測項目の測定方法のトレーニングを行った。トレーニングの参加者は延べ75人に達した（Photo 1～3）。地下水調査の技術移転が十分となった2016年の乾季と雨季には，CPが主体となり浅井戸の広域調査を実施し，乾季に122地点，雨季に106地点の現地観測データおよび地下水試料が採取できた。なお雨季に調査地点数が少なくなったのは，乾季に設定した観測井を再び訪

れた際、井戸そのものが区画整理等でなくなっていたり、道路が複雑に入り組む旧市街地で観測井にたどり着けないなどの事情によるもので、2度

Photo 1. Looking for survey points with counterpart in the field.

Photo 2. On-site training of groundwater sampling for local researchers.

目の調査においてはおよそ1割の観測点が失われてしまった。途上国では区画整理が頻繁に行われているため、同じ観測地点を継続して調査することは困難な場合が多い。経年調査を行う場合は、初期の観測数量を多めに設定する必要があることを痛感した。

現地で得られた観測データならびに水試料は、他のチームと連携・共有しながら解析および分析を実施している。例えば、井戸の水位データならびに位置情報は地下水賦存量の解析を担当している水量診断班（CP：トリブワン大学・工学部）と共有し、水試料については、病原微生物の分析のために微生物診断班（CP：トリブワン大学・医学部）の元へ輸送した。当初は現地調査で集められる試料数が予想以上に早く集まったために、病原微生物の分析や消耗品の補充が追いつかなかったり、水位データの空間分布に不均一性が生じて水文解析が困難になったりするなどの諸々の問題が多発した。現地のトリブワン大学で学部間を越えた連携を行ったのは、おそらく本プロジェクトが初めてであったと思われる。当初は異なる学部への遠慮のためか、問題の所在そのものが十分に伝えられないこともあったが、それを知った相手国のプロジェクトリーダーのリーダーシップとそれに応じた各班長の寛大な対処によりこの問題はすぐに解決した。加えて、CPの若手の当事者意識の高さもすばらしかった。現地調査や解析を担当している若手がソーシャル・ネットワークキ

Photo 3. On-site training of laboratory experiments among Japanese and local students.

ング・サービス (SNS) を利用したコミュニケーションを密にとることで、現地調査実施数の調整や水位観測地点の補充を行い、多くの問題を短期間で解決した。

カトマンズ盆地内の地下水は、硝酸イオンとアンモニウムイオンの濃度が高く、硝酸態窒素に関しては、WHO 飲用水基準 (11.3 mg/L) を超過している井戸が乾季では18% (最高濃度 49 mg/L)、雨季では32% (最高濃度 60 mg/L) であった。アンモニア態窒素に関しては、WHO 飲料水指針値 (1.2 mg/L) を超過する井戸が乾季と雨季でそれぞれ42% (最高濃度 60 mg/L) ならびに35% (最高濃度 19 mg/L) であった。また、鉄含有濃度も高く、WHO 飲用水基準 (0.3 mg/L) を超過する井戸は乾季で74% (最高濃度 38 mg/L)、雨季では45% (最高濃度 23 mg/L) であった。一方、下水や郊外の家畜が由来と考えられる微生物汚染も確認されている (Malla et al., 2018)。これら汚染の時空間的な分布特性については現在解析中であるが、窒素や鉄を高濃度に含む地下水は、このままでは飲用はもとより洗濯やシャワーでの利用にも不便をきたしている。そこで水処理班では、窒素や鉄の除去のため、低コストで自立可能なLCD水処理装置のデザイン開発を進めており、既に複数地点に導入し稼動を始めている。

IV. 終わりに

少子高齢化時代に入った我が国の地方都市においては、集落の小規模化や分散化が急速に進みつつある。また、地方財政は厳しさを増しており、これまで通りの大規模な水インフラの維持・管理が困難になるというシナリオも議論され始めている。今後、我が国の地方都市が直面する水問題が、途上国が今抱えている問題と同じ構図になる可能性は十分にあるといえる。地域の水の状況を多角的に鳥瞰したマップの作成や、低コストで運転が可能な自立・分散・小規模な水処理システムの効率的な普及は、途上国に限らず我々の将来にとっても極めて重要であると考えている。

謝 辞

本研究は、JICA-JST地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS) 「微生物学と水文水質学を融合させたネパールカトマンズの水安全性を確保する技術の開発」 (代表者：風間ふたば (山梨大学), Narendra Man Shakya (トリブワン大学)) の支援を得ている。ここに深甚の謝意を表します。

文 献

- 中村高志・西田 継・風間ふたば・尾坂兼一・S. K. Chapagain (2015) ネパール・カトマンズ盆地における浅層地下水の窒素汚染. 日本水文科学会誌, 44 (4), 197–206.
- 水システム国際化研究会 (2016) 世界の水事情 持続可能な開発目標の達成に挑む. 日本水道新聞社, 218–222.
- Malla, B., Ghaju Shrestha, R., Tandukar, S., Bhandari, D., Inoue, D., Sei, K., Tanaka, Y., Sherchand, J. B. and Haramoto, E. (2018) Validation of host-specific *Bacteroidales* quantitative PCR assays and their application to microbial source tracking of drinking water sources in the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal of Applied Microbiology*, 125 (2), 609–619.
- Shrestha, S., Nakamura, T., Magome, J., Aihara, Y., Kondo, N., Haramoto, E., Malla, B., Shindo, J. and Nishida, K. (2018) Groundwater use and diarrhoea in urban Nepal: novel application of a geostatistical interpolation technique linking environmental and epidemiologic survey data. *International Health*, doi: 10.1093/inthealth/ihy037.
- United Nations, UN HABITAT and World Health Organization (2010) The Right to Water. Fact sheet No. 35, 8 p.
- Warner, N. R., Levy, J., Harpp, K. and Farrug-

gia, F. (2008) Drinking water quality in Nepal's Kathmandu Valley: a survey and assessment of selected controlling site characteristics. *Hydrogeology Journal*, **16**(2),

321–334.

World Health Organization and UNICEF (2017) Progress on drinking water and sanitation. 2017 update and MDG assessment, 4 p.