

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」領域)

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

(ネパール連邦民主共和国)

平成 25 年度実施報告書

代表者：風間 ふたば

山梨大学医学工学総合研究部国際流域環境研究センター・教授

<平成 25 度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施概要

本プロジェクトの目的は、エネルギーと水資源に制約がある開発途上国のネパール都市部において、人口増加や災害にも耐えうる安全な水の連続供給を可能にするため、水安全性を診断する技術の適用と、現地の浄化潜在能力を最大限に引き出した自立・分散・小規模水処理システムを構築することである。この過程で、多くのステークホルダーが水安全性確保に関する情報を共有し、地域住民による持続的な水資源保全と水処理システムの維持管理が行われるようになることを目指す。具体的には、水安全性の正確な評価を可能とするプロトコルの整備(目標1「水安全性診断技術の適用」)と、生物膜、人工湿地と傾斜土・砂ろ過を積極的に活用した現地対応型の水処理技術の創出(目標2「自立・分散・小規模水処理システムの最適化」)を目標としている。水安全性診断技術の適用では、潜在的な水需要、水利用の実態、水資源の現存量に関する調査(水資源診断)、環境水の汚染物質・汚染強度・汚染源、一般水質の特徴に関する調査(水質診断)、および、環境水の微生物汚染と微生物学的特徴に関する調査(微生物・公衆衛生診断)の結果に基づき、多指標により評価された水安全性マップを作成する。このマップより水処理が必要な地域の優先順位付けを行うことで、現地において自立的かつ分散的で小規模な水処理システムの最適な配置と処理規模を決定する。また、水処理技術の開発では、原水水質や目的に応じて、何れも工学的手法に機能強化を図った生物膜処理、人工湿地処理と傾斜土・砂ろ過装置を組み合わせた技術を開発する。本プロジェクトでは、これを実施していくため、5つの研究グループ体制(研究グループ1「水資源診断」、研究グループ2「水質診断」、研究グループ3「微生物・公衆衛生診断」、研究グループ4「水処理技術開発」と研究グループ5「システム評価」)を設け、相互補完的に連携しながら効率的に研究を推進する。

本年度は、詳細策定調査(JICA)に先立つ7月に代表がカトマンズを訪れネパール側の協力機関との打ち合わせを行い、8月にはネパール側参加者のほぼ全員を集めて、ワークショップ(Sharing and Preparatory Workshop on SATREPS Project “Hydro-microbiological approach for water security in Kathmandu Valley”)を開催した。詳細策定調査は9月に行われ、その間にMMが交わされた。その後、平成26年1月から3月の間に2回、山梨大学から研究代表ならびに各研究グループリーダーがカトマンズを訪問し、ネパール側の研究者と今後の打ち合わせを行った。JICA-ネパール関係機関との合意文書(RD)は3月28日に締結され、また同日にトリブバン大学側が山梨大学との間に交わすMOUの署名を行った。

山梨大学はこれまでも多年にわたりカトマンズ盆地内の地下水に関する調査研究を行い、成果を現地に還元してきた実績から、本プロジェクトの内容はプロジェクトに参加しているすべての現地組織から強く支持されている。しかしカトマンズ市内の電力状況は依然としてほとんど改善されておらず、大学における研究環境は旧態依然としている。本プロジェクトを円滑に進めるためには、カウンターパートと連携しながら研究環境を整備する努力を重ねることが必要である。

## 2. 研究グループ別の実施内容

本プロジェクトは日本側ならびにネパール側の参加者により構成される5つの研究グループを設けた。以下、各研究グループの実施内容を記す。なお、山梨大学が中心となってこれまで行ってきたカトマンズ盆地の地下水に関する研究成果は”Kathmandu Valley Groundwater Outlook”として2012年に書籍にまとめられている。各研究グループの実施内容④においてはこの書籍の紹介が含まれるが、重複するため以下では省略してい

る。

#### 研究グループ1:水資源診断

##### ① 研究のねらい

ネパールが主体的にカトマンズ盆地の水資源観測を実施してこなかったことから、水資源に関する信頼できる一連のデータベースがなく、またその観測体制も整っていない。そこで、必要な情報を収集し、カトマンズ盆地における水収支、水需要、水利用や水供給量などを正確に把握した水資源的評価を行う。

##### ② 研究実施方法

今年度は準備段階として、これまで山梨大学が研究の過程で収集してきたカトマンズに関する各種データ(GIS情報なども含める)の整理と、今後の研究に必要な不足データの確認作業を行う。

##### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

これまでに収集したデータを整理したところ、降水量・気温・風速などの気象諸量および河川流量については、2009年までの十数年分のデータが揃っていた。また、人口分布、土地利用についてもすでに取得済みであった。不足しているデータとしては、上記の水文気象諸量の2010年以降のデータや、地下水位、地下水揚水量、穀物生産高などが考えられる。これらのデータの利用可能性について、ネパール側カウンターパートに調査を依頼している。

##### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

上述のようなデータの共有が図られた。

##### ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

特になし

#### 研究グループ2:水質診断

##### ① 研究のねらい

カトマンズ盆地の地下水および表層水汚染の実態は報告されているものの、その解析、評価は窒素、鉄や有機物などの一部の汚染物質の濃度データに限られている。水質の側面から水安全性を正しく評価するため、窒素、鉄と有機物の発生源や動態などの汚染のメカニズム解明や上記以外の健康項目に係わる他の汚染物の危険性を把握する。また、汚染現場において、エネルギー・コスト投入をできる限り抑えつつ水処理性能を高めるため、研究グループ3と連携しつつ、その場に存在する浄化微生物の反応に影響を及ぼす水質要素(pH、溶存酸素、電子受容体、電子供与体など)を把握する。

##### ② 研究実施方法

準備段階として、これまでの水質汚染に関するデータと、カトマンズ盆地内の健康状況に関するデータの整理を進める。

##### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

これまでの調査で得られた水質データを整理し、地下水の窒素汚染について地下水中の窒素の挙動解析を行い、今後の調査で重点的に調査すべき地域や水質項目を検討した。窒素汚染に関しては、一般水質分析に加え安定同位体分析を行い、汚染源の把握や地下水の窒素汚染に対して現地存在する浄化微生物の寄与の有無を確認することとした。同時に水質浄化微生物の活性と因果関係のある地下水

中の有機物の観測も行うこととした。また既存のデータは人口密集地に集中しているため、郊外における地域の調査を実施し解析の幅を広げることとした。

- ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)  
2014年3月にトリブバン大学の水質研究施設を訪問し、今後必要となる実験機器等をリストアップした。また同大学の Suresh Das Shrestha 博士を訪問し、現地の地下水調査・研究の進行状況と不足部分について情報収集を行った。
- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)  
特になし

### 研究グループ3:微生物・公衆衛生診断

#### ① 研究のねらい

水系感染症による被害が慢性化していることから、以前から、カトマンズ盆地の地下水および表層水においても大腸菌汚染の調査が行われているが、その調査は一部の地域に限られている。そこでカトマンズ全体をカバーした観測データを整える。また、大腸菌群ばかりでなく他の指標微生物や病原性微生物も網羅的に調査し、水系感染症のリスクを評価する。

一方、汚染現場において、エネルギー・コスト投入をできる限り抑えつつ、高性能の生物処理を実現するため、その場に存在する浄化微生物の種類や特徴を明らかにし、その微生物診断情報に応じた処理戦略を決定する。

#### ② 研究実施方法

これまでの調査で得られている病原性細菌や環境浄化微生物に関する解析結果をまとめて整理する。また、大腸菌等の指標微生物や病原性微生物や、窒素浄化に係わる微生物群(硝化細菌、従属栄養型脱窒菌、独立栄養型脱窒菌や ANAMMOX 菌など)や各種有害物質(有害化学物質、重金属イオン)の酸化、還元作用を有する微生物を網羅的に検出する方法の開発を継続する。

#### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

本年度は、これまでの調査で得られた微生物の測定データを整理し、今後の調査で重点的に測定すべき微生物の種類や調査地点、試料の種類等を検討した。大腸菌を糞便汚染指標細菌として測定すると共に、病原微生物として、定量PCRやマイクロアレイ、蛍光顕微鏡観察等によって病原細菌、ウイルスおよび原虫を測定し、微生物汚染の実態像を明らかにすることとした。病原細菌の中では、特に多剤耐性菌を対象とすることとした。また試料としては、従来の水試料のみならず、下水を用いて農作物を栽培している地域の存在も勘案し、農作物からの微生物の検出も試みることにした。

#### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

2014年3月にトリブバン大学医学部の Jeevan Sherchan 教授の研究室を訪問し、今後必要となる実験機器等をリストアップすると共に、それらの機器の設置と実験作業に必要なスペースが確保できることを確認した。また、Jeevan 教授の研究室で有している水系感染症に関するデータの存在が紹介された。

- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)  
特になし

### 研究グループ4:水処理技術開発

## ① 研究のねらい

カトマンズ盆地の地下水の多くは窒素と鉄の濃度が高い。そこでこれらの除去を効率よく行うことができれば、生活用水として利用可能な地下水量が著しく増加する。また、水の循環・再利用と浅層地下水汚染防止の観点から、表層水および下排水処理が必要で、これが普及すればカトマンズの健康水準は向上し、社会・経済発展にも資する。一方で、カトマンズ盆地は、高度処理技術を維持するための経済力と電力が十分でないことから、低コストで高い処理効率を生み出すことができる水処理技術を開発しなければならない。ここでは、地下水の窒素および鉄の除去、表層水および下排水の有機物や化学物質除去に対応する、低コスト・省エネルギー処理システムを開発する。

## ② 研究実施方法

準備段階として以下の3つを行う。

## 1. 生物膜処理装置のラボスケール運転

窒素除去のための新規生物膜処理技術として、ドロッピング硝化-複合型脱窒法(独立栄養細菌群による水素酸化脱窒とANAMMOXの共存など)の開発を目指す。まず日本において、ラボスケールシステムを試作、試験運転し、処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。同時に、現地で実験的に稼働中のドロッピング硝化装置の運転を継続し、性能確認と維持管理のために現地へ赴く。

## 2. 人工湿地処理のラボスケール運転

窒素、有機物と化学物質除去のための新型人工湿地を開発する。その人工湿地を構成する植物材料、植物基盤材料と植物根圏に導入する浄化微生物材料の個々の浄化作用と相互作用を検討する。まず日本において、ラボスケールシステムを試作、試験運転し、処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。また現地での適用を検討するため、現地調査を行う。

## 3. 傾斜土・砂ろ過処理装置のラボスケール運転

窒素、鉄と有機物除去のための傾斜土・砂ろ過処理装置を開発する。その傾斜土・砂ろ過装置を構成する土壌材料、砂利材料と基盤材料の個々の浄化作用と相互作用を検討する。まず日本において、ラボスケールシステムを試作、試験運転し、処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。また、現地での利用可能性を確認するため、現地へ赴き盆地内の設置可能場所に関する予備的調査を行う。

## ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

本年度は、日本国内において、ドロッピング硝化-複合型脱窒法(独立栄養細菌群による水素酸化脱窒とANAMMOXの共存)のラボスケールシステム、人工湿地のラボスケールシステムと傾斜土・砂ろ過処理のラボスケールシステムを試作し、その処理性能を検討した。その結果、複合型脱窒法では窒素除去速度が0.26 kg-N/m<sup>3</sup>/d(第50回日本水処理生物学会発表、2013.11.13-15)、人工湿地では窒素除去速度が3.6 kg-N/m<sup>3</sup>/d(第65回日本生物工学会発表、2013.9.18-20)、傾斜土槽法ではBOD除去性能が14 g/d(第39回日本陸水学会甲信越支部会研究発表会発表、2013.11-12.1)を達成した。これらの処理性能は、カトマンズでの効率的な水処理を実現するのに十分な高い数値であるといえる。

## ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

2013年9月にトリブバン大学工学部のIM Amatya 准教授の研究室を訪問し、今後の研究方針、課題と役割分担を決めるとともに、必要な実験機器と実験作業スペースの準備計画を決めた。それに先立つ2013年8月のカトマンズでのワークショップにおいて、上述の日本国内における水処理研究の状況を紹介するとともに、カトマンズに設置しているラボスケールの窒素処理装置の運転結果も紹介した。ネパール側からは、現地

で過去に試行された複数の水処理装置導入の経緯とその後の状況について、現地見学を含め紹介があった。

- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし

#### 研究グループ5:システム評価

##### ① 研究のねらい

本プロジェクトで社会実装を計画している「水処理システム」の有効性を検証するための調査研究を行う。

##### ② 研究実施方法

本プロジェクトで社会実装しようとしている装置の有効性を実証するため、装置普及前後の社会調査を行う予定である。準備段階として、現地において、研究メンバーの一人が主催予定の水利用に関するライフスタイルと疾病に関するワークショップを共催し、社会調査に向けた現地情報を得る。

##### ③ 当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

水利用に関するライフスタイルと疾病に関するワークショップを2013年8月にカトマンズで共同開催した。このほか、現地の状況視察と、健康データや社会経済データの所在調査を行い、現地での調達をネパール側カウンターパートに依頼した。また、本プロジェクトの有効性を正しく評価するため、現在カトマンズで進行中のメラムチ導水計画の評価も必要との認識から、メラムチ計画に関する情報調査を開始し、社会調査の内容について検討を開始した。

##### ④ カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

上述のワークショップにおいて、ネパール側参加者からカトマンズにおける水利用の実態や市民の意識についての情報を得ることが出来た。また、メラムチ導水計画の進捗状況などの現地情報を担当機関であるKVWMSBより得ることが出来た。

- ⑤ 当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数(国内 0件、国際 0件)  
② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、国際 0件)

#### (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳(国内 0件、国際 0件、特許出願した発明数 0件)  
② 本プロジェクト期間累積件数(国内 0件、国際 0件)

### 4. プロジェクト実施体制

#### (1) 「水資源診断」グループ(研究題目)

- ① 研究者グループリーダー名: 市川 温 (山梨大学・准教授)

## ②研究項目

- 1-1. 人口、産業分布、土地利用などの統計データを収集し、潜在的な水需要を予測する。
- 1-2. 気象、地形、地質などの自然環境データを収集・整理する。
- 1-3. 1-1.および1-2.の情報を基に水資源空間分布と長期変動傾向を推定する。
- 1-4. 水資源(3項目: 水需要量、水利用量と水供給量)に関する水安全性マップを作成する。
- 1-5. 代替水資源の開発を検討する(地下ダム、雨水涵養、雨水利用)。
- 1-6. 人材育成と技術普及・定着を支援する。

## (2)「水質診断」グループ(研究題目)

①研究者グループリーダー名: 中村 高志 (山梨大学・特任助教)

## ②研究項目

- 2-1. 環境水(水道水、井戸水、タンカー水、ボトル水、地下水や河川水)の汚染源、汚染物質と汚染強度を調査する。
- 2-2. 環境水の水質的特徴と水文学的特徴を調査する。
- 2-3. 水質項目(5項目: 窒素成分、鉄、BODまたはCOD、有機化学物質、溶存酸素)に関する水安全性マップを作成する。
- 2-4. 微生物反応に影響する水質要素を調査する。
- 2-5. 人材育成と技術普及・定着を支援する。

## (3)「微生物・公衆衛生診断」グループ(研究題目)

①研究者グループリーダー名: 原本 英司 (山梨大学・助教)

## ②研究項目

- 3-1. 環境水(水道水、井戸水、タンカー水、ボトル水、地下水や河川水)の大腸菌等の指標微生物や病原性微生物を網羅的に調査する。
- 3-2. 病原性微生物の発生源と動態を推定する。
- 3-3. 微生物項目(5項目: 一般細菌、大腸菌群数、水系感染性原虫、水系感染性細菌、水系感染性ウイルス)に関する水安全性マップを作成する。
- 3-4. 浄化微生物を網羅的に調査し、それらの分布を把握する。
- 3-5. 水系感染症の現状把握を行い、水質ならびに水利用状況との関係性を抽出し、水系感染症安全性マップを作成する。
- 3-6. 人材育成と技術普及・定着を支援する。

## (4)「水処理技術開発」グループ(研究題目)

①研究者グループリーダー名: 遠山 忠 (山梨大学・准教授)

## ②研究項目

- 4-1. ドロッピング硝化-複合型脱窒生物膜処理(独立栄養細菌群による水素酸化脱窒とANAMMOXなど)装置を試作・運転し、その処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。
- 4-2. 促進型人工湿地装置を試作・運転し、その処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。

- 4-3. 促進型傾斜土槽・砂ろ過装置を試作・運転し、その処理性能とコストに及ぼす各種要因を特定する。
- 4-4. カトマンズでの水処理システムの実証実験を3地点以上で実施し、その性能と問題点を把握する。
- 4-5. 処理システム導入後の結果・変化(水資源、水質および微生物・公衆衛生項目)を反映したフィードバック制御により、処理システムを最適化する。
- 4-6. 人材育成と技術普及・定着を支援する。

(5)「システム評価」グループ(研究題目)

①研究者グループリーダー名：新藤 純子（山梨大学・教授）

②研究項目

- 5-1. ネパールにおける水処理施設設置状況の把握と水処理施設導入による水安全性向上を定量化する。
- 5-2. カトマンズでの水処理システムの社会実装と普及に向けた経済的および社会的問題点を抽出しその解決策を提案する。
- 5-3. カトマンズに水処理システムを導入した後の水安全性の向上とその波及効果を定量的にシミュレーションする。
- 5-4. 人材育成と技術普及・定着を支援する。

以上