

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2012～2015

課題番号：24254004

研究課題名(和文) アジア途上国の水衛生環境改善シナリオ作成

研究課題名(英文) Water and environmental sanitation improvement scenario for Asian developing countries

研究代表者

藤井 滋穂 (Fujii, Shigeo)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：10135535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アジア地域での水衛生環境改善の代替シナリオ作成の方法論の提案を目的とした。7都市のプロファイリング、5都市での水利用・排水特性調査、3都市での水・物質フロー構築、1都市での水収支構築、およびし尿汚泥処理技術・システムのデータベース作成を行った。これらより、ハノイでは腐敗槽の活用とインターセプト型下水道の整備を代替シナリオとして策定し、その効果と課題を明らかにした。バングラデシュではスラム地域向けに、下痢症リスク情報を用いた参加型ワークショップを開発し、行動変化を促進し、かつリスク削減効果の高いシナリオを選定・導入する手順を実証した。以上、本研究で構築した方法論の有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study is to propose a methodology of developing alternative scenarios for environmental sanitation improvement in Asian cities. The study profiled sanitation management of seven cities, characterized water consumption and wastewater discharge in five cities, developed water and mass flow models in three cities, and established a water balance model in a city. An alternative scenario was proposed in Hanoi, Vietnam, composed of septic tank performance improvement and intercept-type sewer use, and its impact was estimated by using the above established model and investigation results. In addition, an alternative scenario was also proposed for a slum in Khulna, Bangladesh. A participatory workshop employing diarrhea risk data was developed and applied into two slums so that slum residents were able to select the scenario by themselves which were feasible and able to effectively reduce the risk. Thus, the methodology developed and used has been verified.

研究分野：土木環境システム

キーワード：水質汚濁・浄化 水衛生環境 し尿と衛生 開発途上国 アジア 国際情報交換

1. 研究開始当初の背景

アジア地域途上国の水衛生環境改善では、適切な水利用・排水管理が最重要課題の一つである。水衛生環境の改善では、日本のような先進国で採用されている高度な上下水道による中央集中型・高度処理型システムは、安全衛生・環境保全の観点からは優れたものである。しかし、途上国で普及させるにはあまりに高コストであり、中途半端な適用では失敗するケースが経験されている。先進国の中央集通型システム以外にも、現地に適合した代替手法を検討する必要がある。

代替手法の作成においては、水利用から排水の流れは考慮されるが、排水・水環境・水利用への配慮が不足し、その結果として適切な公衆衛生、水環境保全がなされていないケースが多い。その作成には、その都市独自の水利用、排水管理および水環境間の水・汚濁物フローを明らかにして、その影響を適切に評価することが必要である。

加えて、このような代替手法は、ある途上国都市で適用可能としても、他の都市では不適切な場合もあるので注意する必要がある。その要因としてはその地域独自の制約条件が考慮されないことが挙げられ、都市独自の制約条件を把握した上で、それを踏まえて水利用・排水・その影響を総合的に評価する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、アジア途上国諸都市において、水衛生環境管理のプロファイリングを行うとともに、水利用・排水特性および水・汚濁物フローを把握することで、適切な代替水利用・排水システムシナリオを提案し、それを評価するモデルの開発を目指した。その内容を、(1)都市プロファイリング、(2)水利用・排水特性調査および水・物質フローのモデル化、(3)衛生技術データベース作成、(4)代替シナリオの作成およびその評価モデルの構築に分けて、以下でその方法および成果を述べる。

3. 研究の方法

(1) 水衛生環境に関する都市のプロファイリング

開発途上国における水衛生環境に関する重要課題であるし尿の管理を中心に、し尿封込→引抜→運搬→処理→処分の衛生サービスチェーンに沿った既往のし尿フロー解析、および衛生サービス評価法 (Peal *et al.* 2014) を改良した方法を構築し、フィリピン (パシグ、ムンティルパ、カランバ、バリワグおよびサンフェルナンド)、ベトナム (ダナン) およびタイ (ノンタブリ) の7都市について、これに基づくし尿フロー図および衛生サービス評価表を作成し、水衛生に関する都市プ

ロファイリング手法としての妥当性を検証した。サービス評価では、実現性指標、発展指標および持続性指標に基づくサービス状況の数値化による可視化を行った。

合わせて、途上国では地下水が重要な水供給源であること、一方で衛生サービスの不足・不十分に伴う地下水資源の劣化が問題であることを鑑み、ベトナムのハノイ市、ネパールのカトマンズ市およびバングラデシュのクルナ市において地下水利用の現況と衛生サービスとの関係性に関する調査を実施した。

(2) 水利用・排水特性調査および水・物質フローのモデル化

詳細な水利用特性と排水特性を調査するため、5都市 (ハノイ、フエ、ダナン、クルナおよびカトマンズ) にて、水源・用途別の水利用量調査および排水性状変動調査を行った。上記のうち4都市では一般的な都市地区で調査を実施したが、バングラデシュ・クルナでは、スラムの水衛生環境問題の関心が高かったため、スラム地区での家庭訪問を通じた聞き取りおよび現場計測に基づく詳細な水利用特性調査を行った。

合わせて、3都市 (ハノイ、フエおよびバンコク) にて水・物質フローの解析のため、水・窒素・リンについてのマテリアルフローモデルの構築を行った。マテリアルフローモデルの構築では、地域における聞き取りに基づく排水・廃棄物管理の現況調査の結果および二次データを用い、農業、畜産、人間生活、市場および下排水系を主要なプロセスとして、原単位法および差分法を組み合わせることで系内のプロセス間の物質収支および系外との物質収支を求めた。

さらに、ハノイでは河川調査と水門での水位連続データの収集に基づき、3段タンクモデルを用いた準分布型流出モデルの構築を行うことで、詳細な水収支を把握した。

(3) 技術データベースの作成

アジア途上国地域においては、汚水・汚泥処理システムが適切に機能・普及せず、適切な公衆衛生、水環境保全がなされていないケースが多いが、これは、地域毎に異なる制約条件に起因しているケースが少なくない。そこで、アジア途上国諸都市において、自然的・社会的環境に応じて適切な技術を選択するための技術データベースの作成を行った。

し尿汚泥処理システムの技術の基本データは、世界的に参照されている資料や個別技術の文献から収集した。収集したデータは、し尿汚泥の収集・処理・処分の3つのカテゴリに分け、過年度に構築した汚水処理技術の選択アルゴリズムとの連携を想定し、アジア途上国諸都市での自然・社会環境のプロファイリング (藤井ら, 2012) のパラメータに基づいて技術的制約条件を整理した。また、実際のアジア地域のし尿汚泥処理について調

査を行い、コンポスト化や埋立処分場のラグーンへの直接投入などの事例を把握した。

(4) 代替シナリオの作成と評価モデルの構築

(2) 水利用・排水特性および(3) 水・物質フローモデルと合わせ、水衛生改善代替シナリオの評価モデルに健康リスクの観点を取り組むために、定量的微生物リスクアセスメント(QMRA)の枠組みに基づく微生物曝露および下痢症および寄生虫感染リスク解析モデルを新たに構築した。これらを組み合わせ、物質収支モデルおよび健康リスクモデルを統合した水衛生環境評価モデルを構築した。さらに、代替シナリオに廃棄物管理の視点を組み込むため、生ごみの排出源分別を導入した場合のごみ質の変化について、三成分(水分、可燃分、灰分)を用いて可視化するツールを開発した。

社会・自然環境の異なる都市として、ベトナムのハノイおよびバングラデシュのクルナのスラム地区を例として、上記を活用したシナリオ作成および代替シナリオの評価を行った。

なお、バングラデシュ・クルナでの代替シナリオの作成では、シナリオ作成のための新たなツールの開発を行った。スラム地区では技術・システムの導入のみならず、技術・システム導入後の地域住民によるその受容と主体的な行動変化が、導入を実際の継続的な水衛生環境の改善につなげるうえで特に肝要である。そこで、住民の下痢症リスク認知レベルを向上させ、行動変化を促すための参加型ワークショップを構築した。これを通じ、複数経路からの下痢症リスクの比較解析結果を住民が共有し、受け入れ可能かつ曝露解析結果から効果的と考えられる水衛生改善策を住民が自ら選定することで、行動変化を促すことを狙った。このワークショップ2か所のスラムで適用した。さらに、ワークショップ前後での実際の住民の日常行動の変化をアンケート調査により把握し、行動変化への効果を検証した。

4. 研究成果

(1) 水衛生環境に関する都市のプロファイリング

フィリピン5都市のプロファイリング結果の例では、衛生サービス評価の最も高い都市はパシグ、最も低い都市はカランバであり、それぞれし尿の衛生処理率は64%および0%であった。衛生サービス評価表による、実現性指標、発展指標および持続性指標ごとの詳細な評価より、パシグではし尿汚泥管理の法令は欠如しているものの、し尿汚泥管理に関する財源が上水道料金に基づき各家庭から一定割合で回収・し尿汚泥管理サービスに充当されていることから、し尿汚泥回収・処理へ効果的な資金配分が実現されており、衛生

サービスの拡充の継続性が担保されていることがわかった。一方、カランバでは、し尿汚泥管理の法令は存在するものの、財源に関する措置はなく、し尿汚泥管理に責任を負う特定の組織も存在していないことがわかった。以上を通じ、本研究で改良・適用した手法は、地域の多様な衛生サービス管理に関する情報を体系化し、プロファイリングするための方法論として有効であることが示された。

地下水についての3都市(ハノイ、クルナおよびカトマンズ)での調査からは、地下水が各地域の衛生ニーズを満たすうえで主要な水源である一方、地下水質の劣化の懸念が高まっており、衛生活動には地下水を主に用いるもの、飲・炊事用としては他の水源(水道、ボトル水、雨水など)を組み合わせている実態が見いだされた。し尿・生活排水の地下水汚染への影響が示唆されたことから、衛生・排水施設の改善を通じた地下水源の保全策の実施が、安全な水供給源の枯渇を防ぐ観点からも重要であることが示された。

(2) 水利用・排水特性調査および水・物質フローのモデル化

詳細な水利用・排水特性の調査からは、例えばハノイでは、一人当たり水使用量は平均146 L/cap/dayと、日本のおよそ半分程度である一方、家庭からの排水はBODで平均212 mg/L、SSは80 mg/Lであり、水量が日本の半分程度である割には、BODは日本と同程度であり、SSはむしろ日本よりも低いことがわかった。この理由としては、各家庭に広く普及する腐敗槽(セプティックタンク)による固形分の除去が寄与していると考えられた。

ハノイの下水処理場の晴天日流入水質はBODで120mg/L前後であり、集排水系を経て有意に減少していることがわかった。一方、同国ホーチミン、あるいはタイのバンコクでは下水処理場流入水のBODは40 mg/Lを切っていたが、両都市とも、水使用量や腐敗槽の形式はハノイと比較的近いことから、BODの大きな違いは集排水システムの地域特性が大きく違っていることが影響していると考えられた。

クルナのスラム地区における水利用特性では、一人当たり水使用量の中央値は72.5L/日である一方、当地の主要な衛生施設である公衆トイレでは、約半数がわずらわしさから排便後に注水式トイレで大便を水洗せず、公衆トイレは存在するもののその運用が衛生的でないことが課題として明らかになった。

ハノイでの窒素・リン・水のマテリアルフロー解析から、都市排水の汚濁源として腐敗槽が重要な負荷減となっていること、一方農業活動が一定程度盛んなハノイ郊外では、人由来よりも農業・畜産由来の汚濁フローが域内の物質循環に大きな影響を与えていることなどが明らかになった。

フエでは、旧市街を対象として生活排水ス

トリー解析および窒素・リンのマテリアルフロー解析の結果から、当該地域の汚濁負荷源の約6割は合流式下水道由来であることがわかった。さらに、下排水路の調査結果から、下排水システムの施工が古く維持管理が不適切なため、季節・降雨条件により地下への浸透あるいは不明水の流入が下水組成、汚濁負荷に極めて大きな影響を与えていることが明らかとなった。

ハノイでの詳細な水収支モデルの構築では、降雨・都市水利用による河川流出を高精度に再現することができた。その水収支の特徴として、都市部では第1タンク（表層）から、郊外部では第2タンク（中間層）あるいは第3タンク（地下水層）から主な流出が生じていることがわかった。これより、都市部では水利用・降雨後の直接的な都市排水の河川流出が顕著であり、これに伴い発生活汚濁負荷の大部分が河川流入汚濁負荷となる一方、郊外部では水田・ため池などが広がり、一定程度の一次貯留を経て排水の流出が生じ、発生活汚濁負荷の一部は一次貯留に伴い減少した上で河川流入汚濁負荷となっていることが示唆された。また、上流部（都市部）由来の汚濁負荷対策が、下流部（農村部）の水衛生環境の改善に不可欠であることを定量的に示した。

（3）技術データベースの作成

し尿汚泥処理システムを3つのカテゴリに分け、それぞれ、6つの収集技術、6つの処理技術、3つの処分技術を整理した。パラメータとしては、社会的・文化的制約、地理的制約の他、コストや資材調達容易さ、オペレーターの要求レベル、汚濁負荷削減効果など約20の項目について整理した。これをベースとして、技術選択によるコスト等の比較ができるよう汚泥処理システムの技術的制約条件について技術データベースを構築した。

なお、並行して熱帯地域における高温・安定な環境を想定した微生物反応速度試験を実施したところ、20に比べて30では酸素消費速度が2.5~3.5倍であった。これらの結果も踏まえると、汚泥発生・収集量の予測等に活用し、バキュームカー等の必要台数等の算出や水利用・排水処理システムのシナリオ評価モデルの構築を進める基盤を構築できた。シナリオ毎のコスト、汚濁負荷量、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量など算定は今後の課題とした。

（4）代替シナリオの作成と評価モデルの構築

ハノイでは、インターセプト型の下水道の整備が進められつつある一方、暗渠化された機能的な下水管ネットワークの構築までには相当程度の時間が見込まれる。一方、都市部のほとんどの世帯は腐敗槽を有し、固形物を中心とした一定の汚濁がこれにより除去

されていた。ここしばらくの間は、腐敗槽の役割が無視できないため、腐敗槽の定期的な槽内清掃の実施による積極的活用とインターセプト型下水道整備の連携、およびこれを支える腐敗槽汚泥処理の推進を都市部での代替シナリオとして作成した。

これを導入した場合、現行の管理状況が悪く、機能が制限されている腐敗槽からの汚濁が削減され、し尿由来の汚濁負荷が最大で7割程度削減されることが推計された。一方、腐敗槽の活用により下水の濃度低下が懸念されたものの、腐敗槽には日本型の合併浄化槽ほどの処理率は期待できないこと、ハノイ市の一人当たり水使用量が146L/cap/dayと低いため原水が濃いこと、雑排水は無処理で放流されていることなどから、家庭から排出された直後の排水のBOD濃度は日本の下水とほぼ同程度にとどまることが推計された。

一方、ハノイの下水処理場流入水は日本のそれより大幅に低いが、これは下排水システムにより下水組成が大幅に変化しているためと理解できた。上述のようにフエでの成果から、下排水システムの施工が古く維持管理が不適切な状況下では、季節・降雨条件により水管渠から地下への浸透あるいは不明水の流入が下水組成に極めて大きな影響を与えることが示唆されている。

下水道整備にまだ時間がかかることを鑑みた場合、本代替策は汚濁負荷削減に一定の有効性があることを示したとともに、健全な下排水系の構築が、しばしば濃度が低すぎる下水の濃度を適正に保ち、下水管からの浸出を防ぎ地下水保全に貢献するとともに、効果的な下水処理につながりうることを示された。

一方クルナにて、下痢症リスクの低減を目指し、ワークショップを通じた代替シナリオの作成を住民参加型で実施した。ワークショップでは、住民が主要な感染媒体として手指、食べ物あるいは飲水などを認識している一方で、リスク解析結果から重要な微生物曝露媒体であることが明らかになった池水（遊泳時の誤飲による曝露）、土（土遊びを通じた土の誤摂取による曝露）などは認知していないことが分かった。

ワークショップを通じて15の下痢症リスク削減策が住民により立案され、汚染された場所（池や土）で遊ぶことを避けることや、汚い手で食器に触らないなどが当該スラムで実施可能な曝露削減策として策定された。これらはリスク評価モデルにより、池遊びのリスク低減のための水源変更シナリオ、および土遊びのリスク低減のための手洗い励行シナリオとして、それぞれ約70%および20%のリスク低減につながることを推計され、スラムでの微生物曝露量削減の観点から有効な代替シナリオとなりえることを示した。

一方、ワークショップ前とワークショップ後2~3か月後に、スラムで生活する主婦層を対象とし、下痢症との関わりが考えられる感

染媒体として、飲料水、食器、野菜、水浴びや洗濯の水源となる池や井戸水、子供の手指の汚染源となる遊び場の土の使用・接触頻度および媒体の管理状況を外部評価者により評価した。その結果を比較したところ、主要なリスク経路である池水遊びや広場での土遊びに関するリスク認知レベルは向上し、曝露を避ける行動を選好する傾向、子供たちにこうした行動を促そうという傾向がみられた。これより、本研究で構築した参加型ワークショップは、スラム住民の行動変化を促し、かつリスク削減に効果的につながるシナリオの選定に寄与することが実証できた。

(5) まとめ

本研究では、アジア7都市のプロファイリングを行うとともに、5都市での水利用・排水特性を明らかにするとともに、3都市で水・汚濁物フロー、1都市での詳細水収支の構築を行った。さらに、過年度に構築した汚水処理技術選択アルゴリズムと連携し、し尿汚泥処理技術・システムを3つのカテゴリに分けたデータベースの作成を行った。ベトナムのハノイでは、これらに基づき腐敗槽の活用とインターセプト型下水道の整備を水衛生環境改善の代替シナリオとして策定し、物質循環モデルなどによる解析から、この効果・影響と課題を明らかにすることができた。さらにバングラデシュのクルナでは、スラム地域での行動変化を促す難しさに対し、下痢症リスク情報を用いた住民参加型ワークショップを構築し、具体的に住民の行動変化につながり得る、かつ下痢症リスク削減効果の高い水衛生改善代替シナリオの選定および導入を実証的に示すことができた。以上より、本研究で構築した方法論は、途上国地域特有の制約条件下で水衛生改善代替シナリオを構築し、その評価ツールとなりえることを実証できた。

今後の課題としては、まず、本研究で主にし尿管理に着目していたプロファイリングの下排水系への拡張、し尿汚泥処理技術選択データベースの充実と技術選択アルゴリズムの開発が挙げられる。合わせて、シナリオ選択が汚水処理に与える詳細な影響の検討を可能にする下排水系内での物質収支の詳細な把握が求められる。さらには、スラム地区等の途上国特有の条件下での下痢症リスク解析モデルの精緻化とともに、本研究で構築した参加型ワークショップの一般性についてさらなる検討が求められる。

参考文献

Peal, A., Evans, B., Blackett, I., Hawkins, P. & Heymans, C. (2014) Fecal sludge management: a comparative analysis of 12 cities, *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 4(4) 563-575, DOI:10.2166/washdev.2014.026.
藤井滋穂 (2013) アジア地域における液状廃

棄物の適正管理のための制約条件の類型化および代替システムの評価 (K2117, K22047, K2358) 環境研究総合推進費補助金 総合研究報告書.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計43件)

Giang, P.H., Harada, H., Fujii, S., Lien, N.H.P., Hai, H.T., and Anh, P.N. (2016) Transition of human and livestock waste management in rural Hanoi: a material flow analysis of nitrogen and phosphorus during 1980-2010, *Journal of Material Cycle and Waste Management*, DOI: 10.1007/s10163-016-0484-1. (査読有)

Tran, N.Q.A., Harada, H., Fujii, S., Pham, N.A., Pham, K.L. and Tanaka, S. (2016) Preliminary analysis of phosphorus flow in Hue Citadel, *Water Science and Technology*, 73(1), 69-77, DOI: 10.2166/wst.2015.463. (査読有)

Kosuke Kawai, Luong Thi Mai Huong, Masato Yamada and Masahiro Osako (2015) Proximate composition of household waste and applicability of waste management technologies by source separation in Hanoi, Vietnam, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(45),1-10. DOI 10.1007/s10163-014-0348-5. (査読有)

Giang, P.H., Harada, H., Fujii, S., Lidn, N.H.P., Hai, H.T., Anh, P.N. and Tanaka, S. (2015) Transition of fertilizer application and agricultural pollution loads: A case study in the Nhue-Day River basin, *Water Science and Technology*, 72(7), 1072-1081, DOI: 10.2166/wst.2015.312. (査読有)

酒井彰, Qazi Asaduzzman, 高村哲, Md. Nazumul Ahsan, 原田英典 (2015) バイオガスシステムを導入した都市スラム衛生改善の実践, 『第13回下水文化研究発表会講演集』, 13巻, II-13 – II-20. (査読無)

蛭江美孝 (2014) 浄化槽技術・システムのパッケージでの海外展開, 『用水と廃水』, 56巻 10号, 77-81. (査読無)

Pasakhala, B., Harada, H., Fujii, S., Tanaka, S., Shivakoti B., and Shrestha, S. (2013) Household coping measures with water scarcity: a case study in Kathmandu, Nepal, 『環境工学研究論文集』, 50巻 7号, III.73-III.81, DOI:10.2208/jscej.69.III_73. (査読有)

〔学会発表〕(計43件)

Kawai, K., Huong, L.T.M. (2016) Monitoring source separation of household organic waste in Hanoi, Vietnam, The 3rd International Scientific Conference on Material Cycles and Waste Management (3RINC), Mar. 3, Hanoi, Vietnam.

Harada, H., Pham, N.A., Nguyen, V. A., Fujii, S. (2015) Influential factor on septage composition and desludging effect on the

performance of septic tank: a case study in Hanoi, 3rd International Faecal Sludge Management Conference, Jan. 19-21, Hanoi, Vietnam.

Fujii, S., Harada, H., Pham, N. A., Tanaka, S. (2014) Study on household water management practice in several Asian developing countries, 7th ASEAN Environmental Engineering Conference, Nov. 21, Palawan, The Philippines.

Harada, H., Fujii, S., Giang, P.H., Komai, T., Nguyen, P.H., Huynh, T.H. (2013) Transition of Phosphorus and Nitrogen Balance in the Nhue-Day River Basin in Vietnam: Preliminary Results, The 16th International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication, Aug. 18-23, Beijing, China.

Pham, N. A., Harada, H., Fujii, S., Nguyen, P.H.L., Huynh T.H., Tanaka, S. (2013) To Lich River water pollution loads and its household wastewater contribution, Sep. 5, Hanoi, Vietnam.

Sakai, A., Azaduzzaman, Q., Kodera, M., Harada, H., Ahsan, M.N. (2013) A case study of slum sanitation improvement in Khulna city, 3rd International Water Association Development Congress, Oct. 14-17, Nairobi, Kenya.

〔図書〕(計6件)

Sangam Shrestha, Vishnu Pandey, Shashidhar Thatikonda, Binaya Shivakoti (2016) Groundwater Environment in Asian Cities: Concepts, Methods and Case Study, pp542, Elsevier.

Binaya Raji Shivakoti (2016) Groundwater-WHASH Nexus: An analysis of households' preference to groundwater in Hanoi, Kathmandu and Khulna, pp46, IGES, Hayama.

藤井滋穂 (2014) 水利用環境 アジアの人々の生活から学ぶ, p128-132, 第5章アジア・アフリカの環境問題, 京都大学で環境学を考える研究者たち編, 環境学 21世紀の教養, pp132, 朝倉書店.

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井 滋穂 (FUJII Shigeo)
京都大学・大学院地球環境学学・教授
研究者番号: 1 0 1 3 5 5 3 5

(2)研究分担者

田中 周平 (TANAKA Shuhei)
京都大学・大学院地球環境学学・准教授
研究者番号: 0 0 3 7 8 8 1 1

原田英典 (HARADA Hidenori)
京都大学・大学院地球環境学学・助教
研究者番号: 4 0 5 1 2 8 3 5

酒井 彰 (SAKAI Akira)
流通科学大学・経済学部・教授
研究者番号: 2 0 2 9 9 1 2 6

蛭江 美孝 (EBIE Yoshitaka)
国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・主任研究員
研究者番号: 9 0 3 9 1 0 7 8

河井 紘輔 (KAWAI Kosuke)
国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・研究員
研究者番号: 1 0 5 3 1 5 0 1

シバコティ ビナヤ ラズ (Shivakoti Binaya Raj)
公益財団法人地球環境戦略研究機関・湛水グループ・研究員
研究者番号: 6 0 5 9 9 0 7 5