

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：12611

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04391

研究課題名（和文）オンサイト型し尿処理設備の持続的衛生管理に向けた地域密着型ハイブリッド研究

研究課題名（英文）Hybrid research concerning regional adaptation for continuously sanitary management of On-Site black water treatment

研究代表者

大瀧 雅寛（OTAKI, MASAHIRO）

お茶の水女子大学・基幹研究院・教授

研究者番号：70272367

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：水洗トイレに対応していない簡易的OSSが導入されているスリランカ国およびその発展形としてベトナム国ホーチミンを対象として、周囲環境へのし尿由来汚染を的確に把握し、衛生状況を評価することを試みた。ヒト糞便由来ウイルスであるPMMoVにより、OSSからの流出および周辺水環境への負荷を把握することができ、PPCPsを指標とすることで発生源からの汚染状況を把握する手法の提案ができた。さらに現地住民に対し、より最適なOSSの選択を促すために動画および静止画を用いた情報伝達の効果を比較した結果、動画の方がより持続的に適したOSSの選択嗜好性を促すことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果によりトイレの水洗化が進んでいるものの、それに対応していない排水処理システムが主となっている多くの途上国地域において、衛生状況を把握するためのツールが示されたといえる。OSS周辺土壌からのウイルス検出方法やPPCPsの組成をモニタリングすることで排出源特性を把握する手法は、今回の対象地域以外においても適用可能な方法であると考えられる。また個別排水処理（OSS）の選択は現地住民主導であるため、住民の意識を最適なOSS選択へと導くための情報伝達手法についても効果的な方法が示された。以上の成果は途上国の衛生環境の改善に寄与する成果と言える。

研究成果の概要（英文）：The sanitation situation in Sri Lanka where simple OSS (On-Site Sanitation) that is not compatible with flush toilets have been introduced mainly and Ho Chi Minh City, Vietnam which introducing advanced OSS were evaluated. The PMMoV, a human faecal-derived virus, was used to determine the discharge from the OSS and the load on the surrounding water environment, and a method was proposed to determine the contamination status at the source using PPCPs as an indicator. Furthermore, a comparison of the effectiveness of information feedback using video and still images to encourage the local population to select the most appropriate OSS showed that video encourages a more sustainable preference for selecting a more suitable OSS.

研究分野：環境衛生工学

キーワード：On-Site Sanitation PMMoV PPCPs 情報伝達手法 アンケート調査

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

安全な衛生状態を確立するためにはし尿処理は重要な要素である。途上国では MDGs (Millennium Development Goals) の号令の下、適正なし尿処理を持たない人口を 2015 年までに半減するとし、し尿の一時的な封じ込めを目的とした個別排水処理 (OSS: On-Site Sanitation) の設置が進められ、し尿の封じ込め対策が急速に進められ簡易的な OSS である Pit latrine や Septic tank の普及が拡大した。しかしこの簡易的な OSS では、し尿の一時的な封じ込めは可能であるが、持続的な衛生的環境保全が可能なのか評価ができていない。そこで本研究では途上国で OSS が導入されている地域において、周囲環境へのし尿由来汚染を的確に把握し、衛生状況を評価した。また OSS (個別排水処理) は各家庭が施設の選択および管理の主体者であるため、住民・地域コミュニティの現状を調査し、使用者が主体的に管理できる体制を構築するための情報伝達方法を検討することとした。

このように現在の OSS の状況を正確に把握するための手法の開発といった技術的側面だけでなく、住民主体の管理体制をどう構築するかというソフト的な側面を合わせたハイブリッド型の研究を通して科学的根拠に基づいた実効性の高い OSS 維持管理方法を提案する必要があった。

### 2. 研究の目的

世界の多くの地域に普及している簡易型 OSS (個別排水処理) の衛生的管理が必要とされる中で、衛生的評価のための指標、住民や地域コミュニティの参画による維持管理、についての検討が不足していることから、本研究の第一の目的は、新しいかつ適切な指標によって、OSS による水源を含めた周辺環境水汚染の現状を把握し、科学的根拠をもって適切な維持管理方法を提案することとした。

次に本研究の第二の目的として、住民や地域コミュニティに対し、科学的根拠と共に OSS の現状を伝える適切な情報伝達方法を検討し、それを主体的な維持管理行動に結び付けるためのプロセスを明らかにすることとした。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 対象地域

上記の背景を基に簡易型 OSS でも Pit latrine が主となっている典型的な地域としてスリランカ国を選定した。スリランカ国内の多くの地域では上水道の整備が進んでいるものの給水量が十分ではないため地下水で補っている家庭も多く、水源の衛生的安全性に OSS が大きく影響していると考えられた。またスリランカの今後の形として簡易型 OSS でも水洗化対応の Septic tank が主となっている地域としてベトナム国を選定し、現状の調査を行った。

これら対象地域において簡易型 OSS について、科学技術的側面から状況調査しデータを集積した。また地域住民に対して簡易型 OSS および維持管理についての現状意識やより適切な行動へと変容を促すための情報提供方法を社会科学側面として検討した。

#### 3.2 調査方法 (科学技術的側面)

衛生水質指標としては糞便由来特異性の高い PMMoV (Pepper Mild Mottle Virus)、およびヒトおよび生態リスクが懸念されている微量化学物質である PPCPs (Pharmaceuticals and Personal Care Products) を用いて生活排水が周辺環境水へどのような影響を及ぼすのか、簡易型 OSS がどの程度の除去能力を持つのか評価した。PMMoV や PPCPs の水および土壌試料からの抽出法および濃縮法といった測定方法の確立も併せて行った。

現地での事前調査を通して対象地域での採水箇所等を選定し、主たる水質指標の動態解析を行うための情報を検討した。

#### 3.3 調査方法 (社会科学側面)

トイレ排水など水使用量の調査を通して使用者側の水使用行動への影響調査を行った。また生活排水および簡易型 OSS について現地住民の現状認識やニーズを把握するための現地調査を通して、反構造化インタビュー調査およびアンケートを行った。どのような情報提供が有効であるのか、文献調査も含めて予備調査を開始する。適切な行動へと変容を促すための情報提供方法として動画および静止画を用いた OSS に関する情報提供とそのレスポンスに関して調査した。その結果を受けて、より有効な情報提供方法を検討し、現地にてその効果を実証することとした。情報提供内容は本研究で実施した科学技術的側面の調査結果であり、その有効性を検討するとともに、現地において反構造化インタビュー調査およびアンケートを引き続き実施し、OSS に対する住民意識の実情および意識変化の可能性について検討した。

### 4. 研究成果

#### 4.1 スリランカ郊外における水系病原ウイルスのリスク評価

スリランカ南部の農村部 (Galle 県 Hawpe) において、井戸間の安全なセットバック距離と OSS の管理方法を決定することにより、現場で使用されている簡易型 OSS が飲料水井戸に及ぼす衛生的影響を評価した。図 1 と図 2 に、各井戸水の大腸菌と PMMoV のそれぞれの濃度と井戸と近傍 OSS の距離をプロットした結果を示す。PMMoV 濃度は、井戸の衛生的な安全性を水平距離だけ

で普遍的に保証することは困難であることを示唆した。併せてウイルスに関する QMRA の結果、Daily risk として  $8.8 \times 10^{-2}$  -  $4.6 \times 10^{-1}$  となり、USEPA の提唱する基準リスク ( $2.7 \times 10^{-7}$ ) を大幅に超えるリスク評価であり、OSS と浅井戸の組み合わせは、水系ウイルス感染のリスクが極めて高いことが示された。OSS の性能を向上させ、住民の健康を確保するために、OSS の包括的な管理が推奨されるが、管理の重要性と必要性を知らない住民への働きかけが必要であり、情報提供の重要性が示唆されることとなった。

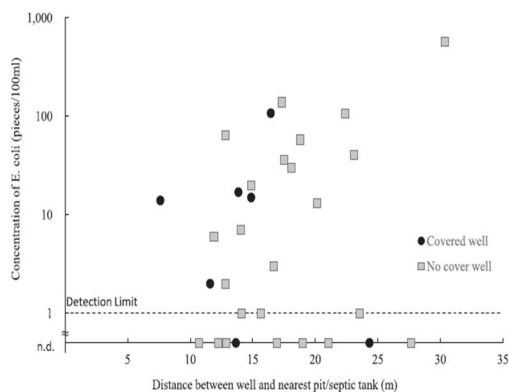


図1 大腸菌濃度と井戸 - 近傍 OSS の距離

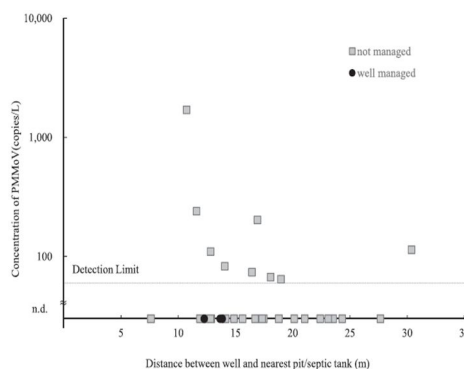


図2 PMMoV 濃度と井戸 - 近傍 OSS の距離

図 3 に井戸水からの医薬品の検出状況を示す。飲料水源が旧式の衛生設備からの糞便汚染物質に対して脆弱であることが示された。カフェインが検出されたことは、劣悪な衛生システムからの継続的な排水を示唆した。一方、カルバマゼピンやスルファメトキサゾールなどの残留性汚染物質の発生は、OSS からの汚染物質輸送の程度を示した。

表 1 に示す相関関係から、大腸菌や大腸菌群などの糞便由来細菌指標は寿命が短く、易分解性カフェイン濃度の予測に使用できると考えられた。一方、硝酸塩は残留性が高く、カルバマゼピンや他の難分解性有機化合物の存在を示す可能性がある。

結論として、セットバック距離 18m 以上では、OSS 汚染から地下水を守ることはできないと考えられる。従って、OSS から地下水までの垂直距離をもっと離すか、可能であれば Septic tank への切り替えが推奨される。

表 1 2 変数間のケンドール順位相関係数

	<i>E. coli</i>	TC	Nitrate	Chloride	CAF	CBZ
<i>E. coli</i>	1					
TC	0.57***	1				
Nitrate	-0.03	0.01	1			
Chloride	0	0.004	0.34**	1		
CAF	0.38*	0.34*	-0.13	0.24	1	
CBZ	0.21	0.30	0.39*	0.15	0.01	1

\* $p < 0.05$ .

\*\* $p < 0.01$ .

\*\*\* $p < 0.001$ .

TC = total coliforms; CAF = caffeine; CBZ = carbamazepine.

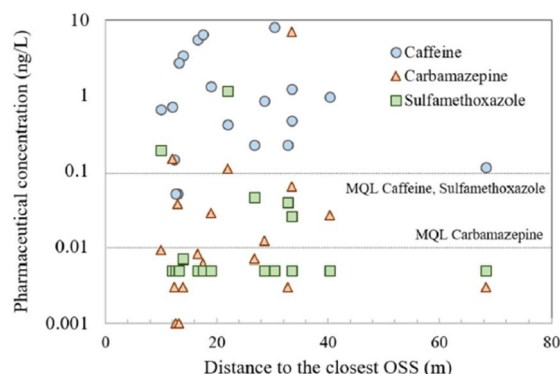


図3 PPCPs (CAF, CBZ, STZ) 濃度と近傍 OSS との距離

#### 4.2 スリランカ南部の下水処理場および Galle 市内の排水路の調査

スリランカ南部の下水処理場および Galle 市内での病院廃水中の PPCPs の排出状況を把握するため採水、検出を行った。結果を表 2 に示す。選択された 8 種類のマーカーのうち、アセトアミノフェンは病院排出物 (70.2-123.6 g/L) において支配的であり、カフェインは STP 流入水 (16.2-68.7 g/L) および表面排水 (0.95-21.73 g/L) において最大の原因物質であった。

#### 4.3 OSS 周辺土壌からの指標ウイルスの検出

Kandy 市郊外および Galle 市郊外の 2 地

表 2 下水処理場および病院廃水中の PPCPs 測定結果 ( $\mu\text{g/L}$ ,  $n = 3$ )

Target Compounds	IQL <sup>a</sup> $\mu\text{g/L}$	STP Influent				Hospital Wastewater				
		This Study		Previous Studies		This Study		Previous Studies		
		Range	Mean	CM	Influent	Range	Mean	CM <sup>*</sup>	Mean/Median Value	
ACT	0.15	29.7-44.3	39.0	260	116.0 <sup>a</sup> 77.7 <sup>b</sup>	70.2-123.6	92.8	625	813.5 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>
CAF	0.15	16.2-68.7	49.1	327	35.2 <sup>b</sup>	12.5-23.7	16.6	110	28.2 <sup>c</sup>	0.35 <sup>c</sup>
CBZ	0.003	0.07-0.24	0.13	43	0.53 <sup>a</sup> 0.37 <sup>b</sup>	0.44-0.60	0.50	167	0.3 <sup>a</sup> 0.08 <sup>c</sup>	0.63 <sup>a</sup> 0.015 <sup>c</sup>
COT	0.1	1.9-2.2	1.9	21	n.a.	1.36-2.35	1.86	21	n.a.	n.a.
SFM	0.1	0.1-0.2	0.17	2	0.5 <sup>a</sup> 0.01-0.1 <sup>d</sup>	2.20-2.96	2.58	29	3.9 <sup>a</sup> 1.4 <sup>c</sup> 0.1-1 <sup>d</sup>	0.81 <sup>a</sup> 0.21 <sup>c</sup> 0.001-0.01 <sup>d</sup>
SFP	0.1	0.38-0.47	0.44	5	0.072-1 <sup>d</sup>	2.05-2.32	2.18	24	0.01-0.1 <sup>d</sup>	bq <sup>d</sup>
ATE	0.15	0.19-0.48	0.30	2	2.4 <sup>a</sup>	0.54-1.11	0.79	4	3.2 <sup>a</sup>	0.019 <sup>a</sup>
ACS	0.15	8.2-10.6	9.0	60	11.5 <sup>b</sup>	0.98-2.0	1.43	9	n.a.	n.a.

域において OSS 近辺の土壌を採取し、ヒト糞便由来指標ウイルスの PMMoV および大腸菌の検出・定量を試みた。表 3 は Kandy 市郊外の 3 か所における OSS 周辺土壌（深さ 1.0 m）の微生物測定結果である。回収率にはばらつきがあるものの、いずれにおいても大腸菌群と共に PMMoV が検出され、糞便由来微生物が OSS 周辺土壌へ流出移動が行われていることが確認された。

表 4 は Galle 市郊外の 4 か所の OSS 近辺の土壌（水平距離 0.2 m および 1.0 m、いずれも深さは 1.0 m）を採取し、指標微生物の測定を行った結果である。なお 4 か所のうち、G1～G2 は Pit latrine であるが、G3～G4 は Septic tank + Soakage Pit であり、水洗トイレ用のタンクとなっていた。結果から Septic tank + Soakage Pit では細菌指標である大腸菌の検出されない、もしくは非常に低濃度での検出であり、細菌の阻止率は高いことが確認されたが、PMMoV では逆に Septic tank + Soakage Pit では検出されたことから、細菌とウイルスの挙動は大きく異なることが示唆された。

表 3 Kandy 市郊外の OSS 周辺土壌からの各微生物指標の検出濃度

試料名	PMMoV濃度(copies/L)	回収率(%)	大腸菌群量(colonies/g)	糞便性大腸菌群量(colonies/g)
K1	$8.1 \times 10^7$	2.4	$1.6 \times 10^3$	$1.1 \times 10^3$
K2	$7.5 \times 10^7$	12	$1.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^2$
K3	$1.3 \times 10^8$	24	$2.7 \times 10^3$	$1.2 \times 10^2$

表 4 Galle 市郊外の OSS 周辺土壌からの各微生物指標の検出濃度

試料名	タンクと採取地点の距離(m)	PMMoV濃度(copies/L)	回収率(%)	大腸菌量(colonies/g)
G1-1	0.2	BQL	6.5	$1.8 \times 10^3$
G1-2	1.0	BQL	3.3	$6.4 \times 10^2$
G2-1	0.2	BQL	7.2	$1.4 \times 10^3$
G2-2	1.0	BQL	4.3	$5.1 \times 10^2$
G3-1	0.2	BQL	8.1	1.0
G3-2	1.0	$1.1 \times 10^8$	1.7	0.0
G4-1	0.2	BQL	3.1	0.0
G4-2	1.0	$1.0 \times 10^8$	1.8	0.0

#### 4.4 ベトナムにおける OSS 排水調査

Septic tank が普及したモデルケースとしてベトナム国ホーチミン市および郊外での調査を行った。図 4 に、サイゴン川での採水地点を示す。図 5 に指標微生物の測定結果を示す。ヒトが排泄する一般的な PMMoV 量とベトナムにおけるトイレ排水量から推定したところ、Septic tank の除去率は 99.96%程度であると推定された。

また大腸菌および PMMoV 濃度は Septic tank からの流出濃度とサイゴン川での検出濃度が同レベルもしくはそれ以上の濃度であった。従って、今回対象とした Septic tank 以上の流出濃度となっている箇所も多いと考えられ、今回の指標微生物の結果から糞便由来病原微生物の除去能力としては Septic tank は不十分な機能しかもっていないと推定され、環境水中の病原リスクを下げるためには、追加の消毒処理等が必要であると考えられた。



図 4 サイゴン川の採水地点

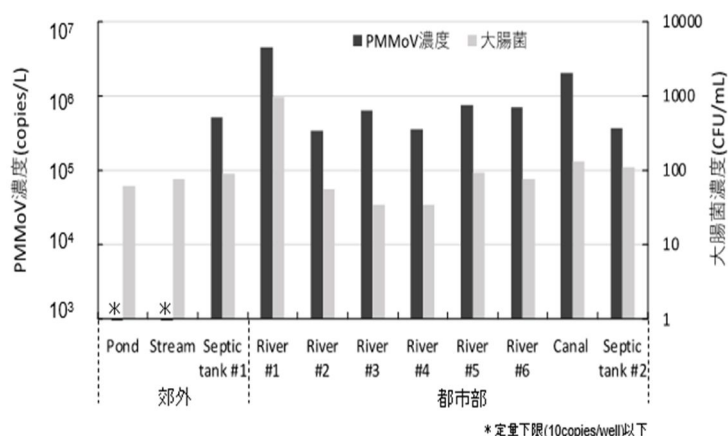


図 5 各試料水中の大腸菌および PMMoV 濃度測定結果

#### 4.5 スリランカにおける情報伝達手法の検討

スリランカのトイレ排水処理は、非水洗トイレ用の OSS である Pit latrine が最も一般的な形態である。しかし上述の研究成果からもわかる通り、水洗トイレには Pit latrine では十分な処理が行われず地下水汚染を引き起こしていると考えられる。そのため Pit latrine から Septic tank への移行を施策として考える必要がある。しかしこれら OSS は各家庭に選択の決定権があ



り、使用者の意識より設置される OSS が決定されるという現状である。

そこで、これまで得られた客観的データに基づいた知見を使用者にフィードバックすることにより、使用者の意識や行動変容を促す効果的な方法を検討した

静止画と動画の2種類のメディアを作成し、Pit latrineとSeptic tankの機能の違いや衛生上のリスクを説明した。情報提示の前後および情報を提示した数週間後にアンケート調査を行い、次のOSSとしてSeptic tankを選択する意識を高める情報提供方法を探った。

図6は静止画、動画のグループにおける情報提供前後および数週間経過後のOSSの選択嗜好性の割合を示したものである。この図から動画、静止画いずれの場合も情報提供後にSeptic tankへの選択性が高くなっているが、数週間経過後の比較では、動画での情報提供の方が静止画に比べて有意にSeptic tankへの選択性が持続されていたことがわかる。順序ロジスティック回帰分析の結果、動画は有意にSeptic Tankの選択を促していることが明らかになった。

図7は、情報提供前と数週間経過後の選択嗜好性の関係を示したものである。この結果からは調査参加者が情報提供を受ける前では、将来設置するOSSは、現在使用されているものと同じものを選択する傾向がありPit latrineによる問題は現在使用者において顕在化しておらず変える必要はないという考え方を反映していたと考えられる。しかし動画による情報提示によって、潜在的なリスクの理解につなげ、特に問題が発生しやすい郊外地域では、より多くの人々が将来Septic tankへの選択をするように変容させることができると考えられた。

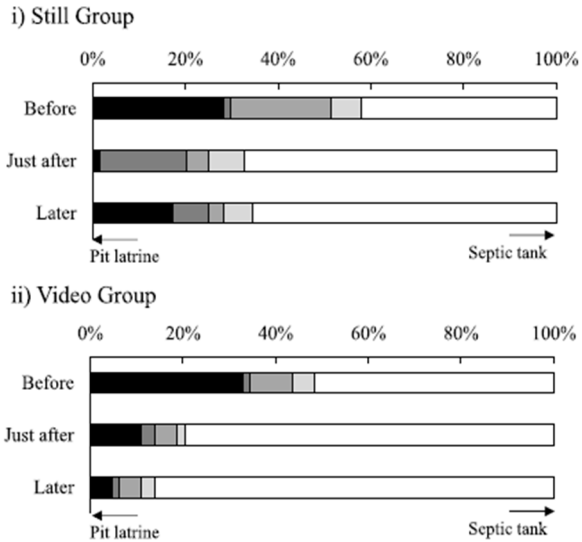


図6 次回OSS設置の際の選択の嗜好性

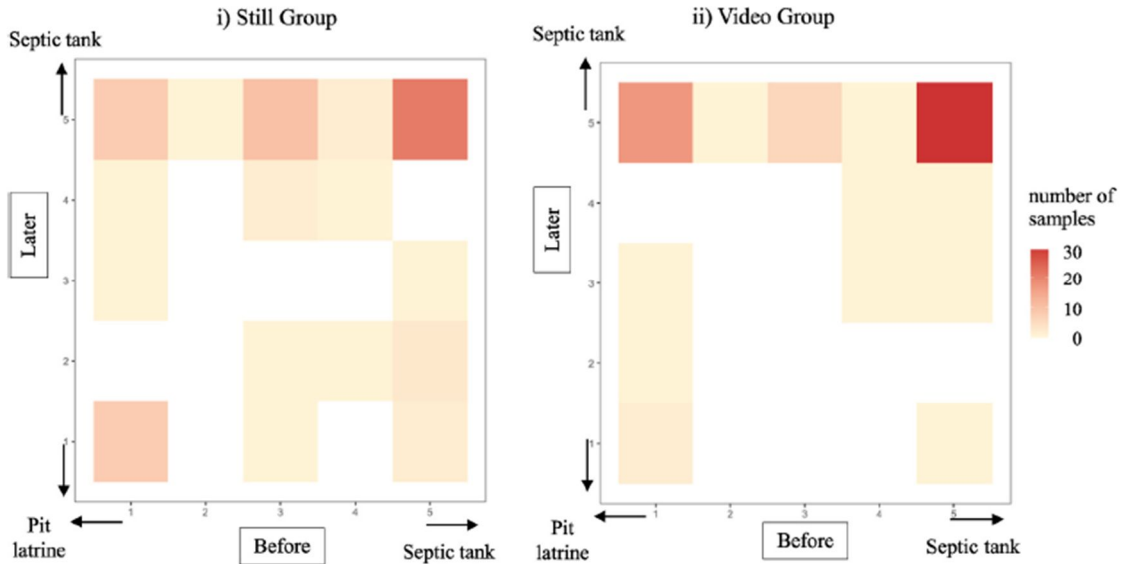


図7 情報提供前と2~3週間経過後の次回OSS設置の際の選択嗜好性の関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Otaki Yurina, Otaki Masahiro, Chaminda Tushara, Kishimoto Yosuke, Nakazawa Yue, Gimhana Kasun	4. 巻 752
2. 論文標題 Hygiene risk of waterborne pathogenic viruses in rural communities using onsite sanitation systems and shallow dug wells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 141775 ~ 141775
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2020.141775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Quyen Do Thi Thuy, Masahiro Otaki, Otaki Yurina, Chaminda Tushara	4. 巻 13
2. 論文標題 Sewage Markers as Determinants to Differentiate Origins of Emerging Organic Pollutants in an Urban Sri Lankan Water Drainage Network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Water	6. 最初と最後の頁 2898 ~ 2898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/w13202898	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Do Quyen Thi Thuy, Otaki Masahiro, Otaki Yurina, Tushara Chaminda, Sanjeewa Ishara Wijesinghe	4. 巻 41
2. 論文標題 Pharmaceutical Contaminants in Shallow Groundwater and Their Implication for Poor Sanitation Facilities in Low Income Countries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Toxicology and Chemistry	6. 最初と最後の頁 266 ~ 274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/etc.5110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Otaki Y., Otaki M., Chaminda T., Matsui T., Bokalamulla R., Thattharani R., Joganathan T.	4. 巻 17
2. 論文標題 Demand-side water management using alternative water sources based on residential end-use	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Water Practice and Technology	6. 最初と最後の頁 949 ~ 959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2166/wpt.2022.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Tokunaga Chika, Otaki Yurina, Honda Hidehito, Otaki Masahiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Exploration of appropriate media to influence sustainable on-site sanitation choices in Sri Lanka? visualization with still images or a video	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e21209 ~ e21209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2023.e21209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Do Thi Thuy Quyen, Otaki. M. and Chaminda T.
2. 発表標題 Organic Wastewater Compounds in Sewage Treatment Plant, Hospital Discharge and Drainage Canal System in Galle city, Sri Lanka
3. 学会等名 The Water and Environment Technology Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳永千夏, 柴尾映里奈, 大瀧雅寛, 大瀧友里奈, Do Thi Thuy Quyen
2. 発表標題 ベトナム・ホーチミンにおけるセプティックタンクの管理状況と病原微生物指標の実態調査
3. 学会等名 日本水環境学会年会
4. 発表年 2022年~2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	風間 しのぶ  (KAZAMA SHINOBU)  (20749444)	東京大学・環境学研究系・准教授    (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大瀧 友里奈 (OTAKI YURINA)  (50422382)	一橋大学・大学院社会学研究科・教授  (12613)	
研究分担者	本田 秀仁 (HONDA HIDEHITO)  (60452017)	追手門学院大学・心理学部・准教授  (34415)	
研究分担者	中久保 豊彦 (NAKAKUBO TOYOHIKO)  (70648766)	大阪大学・工学研究科・准教授  (12611)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
スリランカ	国立Ruhuna大学	国立Peradeniya大学	
ベトナム	ホーチミン市科学大学		