

平成 22 年 6 月 28 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560553  
 研究課題名（和文） 都市流域における排水系統の整備と水環境の生態リスク管理  
 に関する研究に関する研究  
 研究課題名（英文） Drainage System and Ecological Risk Management  
 in Urban Water Environment  
 研究代表者  
 市木 敦之（ICHIKI ATSUSHI）  
 立命館大学・理工学部・准教授  
 研究者番号：90268152

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、こうした微量有害物質が底生生物に及ぼす生態リスクを評価するための基礎的な知見を得ることを目的とし、都市域ノンポイント汚染物質の現存・挙動調査を実施するとともに、それらにセスジユスリカを用いた生態毒性試験を実施した。その結果、都市域ノンポイントソースに由来する微量有害物質の流下過程における現存・挙動特性を明らかにするとともに、発生源に近いところに現存する汚染物質がセスジユスリカの羽化率や産卵率を大きく低下させるなどの生態毒性を明らかにした。

## 研究成果の概要（英文）：

The objective of this study is to survey standing stock and behavior of urban nonpoint pollutants in their runoff process. It also aims at examining an ecological impact of the urban pollution on the receiving water. From the surveys on the standing stock and behavior, differences in content ratio of pollutants in urban sediments from their sources to receiving water were shown. And, from the examination on the ecological impacts, ecological toxicity of the urban sediments for *Chironomus yoshimatsui* was shown. As a result, some significant knowledge for the environmental management of urban pollution has been obtained.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 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：生態リスク・セスジユスリカ・水質・底質・都市域ノンポイントソース・排水系統・ラオス国ビエンチェン市・PAHs

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 都市域では、人口が集中し社会活動も盛んなため水利用が多目的で汚濁のポテンシ

ヤルが高い。そのため、こうした地域では、公共用水域の水質保全のための総合的な水環境管理計画が必要となっている。従来わが

国では、公共用水域の水質保全策として下水道整備が各地で推進されており、全国平均の普及率で見ると他の先進諸国に比べていまだに低い水準にあるものの、社会基盤への投資の早い都市域では、既に下水道整備が完了しつつあるところも多い。しかし、下水道へ取り込めるのは、ポイントソースからの汚濁物に限られるため、こうした地域では、下水道整備後に流出汚濁の大部分を占めると考えられるノンポイント負荷を効果的に制御する流域管理が課題となっている。しかし、このノンポイント負荷については、時間と費用のかかる実測調査が必要であることから、現在までその実態が明らかになっていない。そのため、種々表面工種の異なる発生源における汚濁物の堆積現存量や流出負荷量に関するデータの蓄積が課題とされている。

(2) 他方、東南アジアに目を向けると水資源、水供給、水質汚濁は、当面する重要な環境問題であり、たとえばラオスでは、首都ビエンチャン首都圏、メコン川流域それぞれが問題を抱えている。しかし、これらの問題を解決する研究機関はほとんどなく、ようやく大学に研究センターを設置して人材養成を始めた段階である。

(3) PRTR 法に代表されるように、環境中に排出されうる多種多様な微量化学物質を予防的に管理する必要性が非常に高くなってきている。しかしながら、微量化学物質に限らずとも、自動車などの移動発生源からの排ガスやタイヤ・道路材自体からの汚濁物質のエミッションについては、都市ノンポイント汚染の観点からの実態把握は十分に行われていない。大気を介した人体影響の視点から、ディーゼル排ガスやSPMなど大気汚染としての研究や規制のあり方の検討は進められてきているものの、道路交通から発生する排ガスや磨耗粉塵などの大気中微粒子の行く末である地表面堆積物を対象にして、その雨天時流出プロセスに関する十分な理解と特性評価が行われているとは言えない。この地表面堆積物という微量汚濁物質の蓄積場からの汚染負荷量の大小は定量化されていないものの、高い蓄積性や生態毒性を有する可能性のある汚濁物質が多く含まれ、雨天時に受水域にそれらは排出されていることから、今後顕在化する大きな水域環境問題であると推察される。

## 2. 研究の目的

本研究では、近年流域の都市化が著しい地域を対象として、都市排水系統内に汚濁物が排出されて後の動態とそれらが底生生物に及ぼす生態毒性を明らかにすることを目的とする。そのため両排水系統における汚濁物の

流出挙動実態調査を実施し、下水道をはじめとする排水系統整備状況や排除方式等の違いによる、汚濁物流出挙動特性の違いを定式化するとともに、都市域での合理的な水環境管理のための検討を行う。具体的には、以下の諸点を各研究実施年度における研究の領域とする。

(1) 対象流域における都市系汚濁負荷の現存特性および排水系統を経た水域への流出特性の定量把握

(2) 流域から受水域へ至る一連の流下過程における微量汚濁物質の現存特性の定量把握

(3) 流下過程から採取してきた底質をセスジユスリカ(以下ユスリカ)に暴露させることによる生態毒性評価手法の開発と毒性影響評価

(4) 大気中における微量汚濁物質の現存特性および挙動特性の定量把握

(5) 都市排水環境の類型化とGISデータの整備、および社会指標や降雨特性を用いた都市系汚濁負荷の移動・拡散・堆積・流出挙動のモデル化

(6) 生態リスク低減を意図した都市系汚濁負荷管理政策の提案とその有効性を評価する手法の開発

## 3. 研究の方法

(1) 調査は、滋賀県草津市の中心地を流れる都市域中小河川やラオス国ビエンチャン市の都市排水路の底質とその流域内の幹線道路より集めた道路塵埃および雨水柵堆積物について行った。調査地点は、都市域ノンポイント汚染負の発生源である主要道路を起点として、最終受水域までの流下水路において、土地利用形態の変化や主要道路・河川・水路の配置を考慮して選定した。調査では、各調査地点における表流水および底質表層土壌(深さ5cmまでの土壌)を採取して実験室に持ち帰り、粒径を74 $\mu\text{m}$ 以下(以下Fin), 74~250 $\mu\text{m}$ (以下Mid), 250~2000 $\mu\text{m}$ (以下Coa)の3区分にふるい分けし、それぞれ粒径区分別に含有成分の分析を行った。分析は、U.S.EPAの奨励するPAHs16物質に加え、TRIPHENYLENE, BENZO(E)PYRENE, PERYLENEを加えたPAHs19物質と重金属類14元素およびSS, IL, TN, TC, TOCについて行った。PAHsの分析試料は、前処理(抽出、濃縮、クリーンアップ)を行った後、GC/MS(島津製作所QP5000およびQP2010)により測定を行った。

(2) 特に道路交通由来の汚濁ポテンシャル

が高いと考えられる分流式雨水管からの雨水流入地点および幹線道路において、生態毒性試験のための底質採取を実施した。加えて、流域内の幹線道路から道路清掃車による道路塵埃の収集と幹線道路沿いの雨水枞より堆積物の採取を実施した。堆積物底質の採取や含有成分の分析は、現存調査と同様の方法で行い、これら乾燥後の堆積物試料をユスリカに暴露させることにより生態毒性試験を行った。

(3) 繁殖試験は、ユスリカを用いたテストガイドラインに準拠して行うとともに、底質、試験水の成分を化学分析した。本試験では、微量有害物質の毒性を定量化するために、道路塵埃を無害な人工底質でいくつかの倍率に希釈した混合底質（希釈レベルの低い方から H, M, L）、道路塵埃と水道水を混合して路面からの流出水を再現した模擬道路排水（h）および模擬道路排水中の PAHs 濃度を变化させるために疎水性物質の吸着剤（XAD-2）を添加した模擬排水（l）を用いた。試験は、これら底質/試験水を組み合わせたものに、人工底質（C）と水道水（c）によるコントロール（C/c）を加えて、C/c、H/c、M/c、L/c、C/h、C/l の各試験区分 ID を設けて、それぞれ行った。評価のエンドポイントとしては、「羽化率 = 羽化数 / 投入卵塊中の卵数」および「産卵率 = 産み付けられた卵塊数 / 羽化した雌数」を設定した。

#### 4. 研究成果

(1) 流下過程における現存調査の結果を全 PAHs 含有率にして図 1 に示す。ここに、PAHs 含有率は、底質の単位乾燥重量あたりの PAHs 含有量 (ng/g-dry) を指す。st.01 から st.03 までは若干の減少傾向にあり国道 1 号線を境に含有量が増加し、またその後流下距離とともに漸減する傾向が確認できる。また、微小粒径に存在する PAHs は比較的残留性を示さない傾向を示している。起点である高速道路近傍における大気降下、降水含有、降雨時流出、清掃除去の各挙動ステージ別の実態調査結果と、流下過程における本調査の結果を比較したのが図 2 である。ここでは底質（あるいは降下物、SS、堆積物）あたりの PAHs 含有率で表している。高速道路近傍における含有率は、流下過程のそれに比べて 2~3 桁オーダが高いことがわかる。また、低環状の物質で高速道路近傍における含有率が高い傾向がみられることから、NAP~ANT(2~3 環の 6 物質)、FLU~C+T(3~4 環状の 5 物質)、BbF~BP(5~6 環状の 6 物質)に区分して、それぞれ高速道路近傍と流下過程における含有率の平均値の比を求めたところ、順に 63.0 倍、48.1 倍、54.0 倍となった。st.01 における PAHs と先行期間降雨量、降雨再起日数の

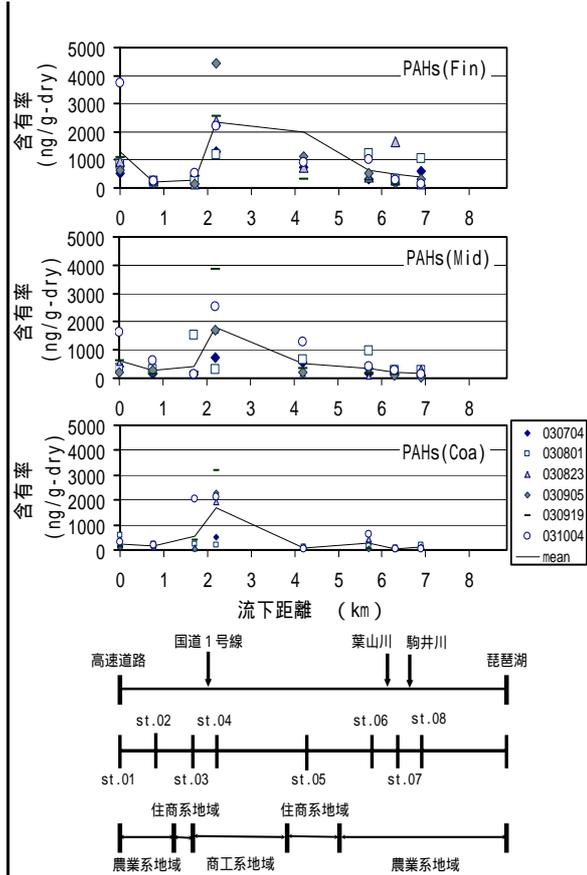


図 1 流下過程における底質含有率の変化

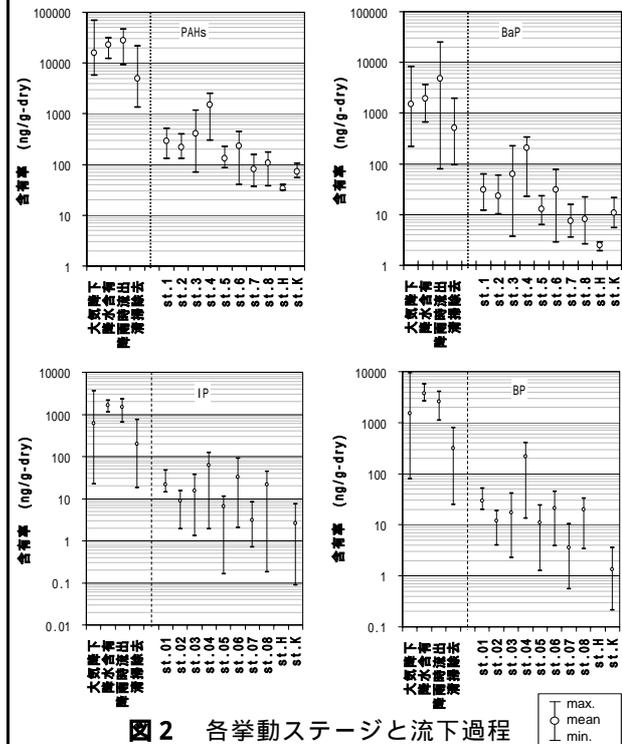


図 2 各挙動ステージと流下過程における含有率の比較

関係を図3に示す。先行期間中の降雨量の減少や降雨再起日数の増加にともない、微細な粒径区分の含有率が増加傾向を示しており、微細粒径に含有された汚濁物の降雨に対する応答性が高いことがわかる。

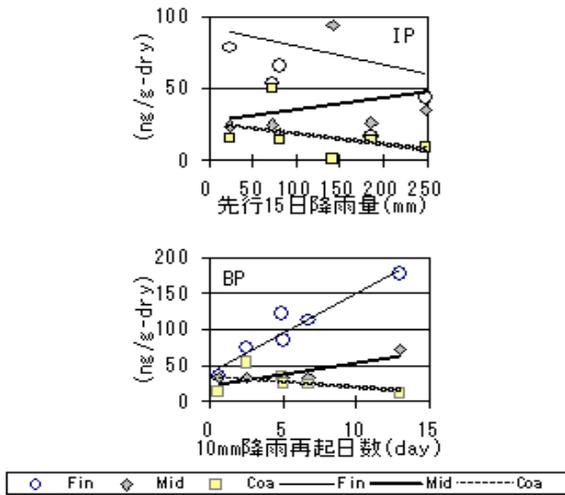


図3 底質含有率に及ぼす影響要因の

(2) 繁殖試験結果として得られたエンドポイント、底質の環数別 PAHs 含有率および試験水に用いた模擬道路排水の PAHs 濃度を図4に示す。ここでは、PAHs を構成する環数により、低環(2,3環) 中環(4環) 高環(5,6環) に区分して表している。PAHs 含有率の高い底質を用いた試験(H/c、M/c)にエンドポイントの減少が見られ、特に産卵率で顕著な減少傾向が確認できる。模擬排水を用いた試験(C/h、C/l)では、底質の PAHs 含有率にほとんど差が無い一方で、C/h よりも XAD-2 を添加した C/l において試験水中の高環 PAHs 濃度が低減しており、これにともなうエンドポイントの増減が見られる。図5に試験水中の高環 PAHs 濃度とエンドポイントの関係を示す。羽化率で右下がりの傾向が見うけられるが、産卵率では明瞭でない。図6に底質の総 PAHs 含有率とエンドポイントの関係を示す。羽化率に比べて、産卵率の方がより顕著な傾向を表しており、含有率 100ng/g を超えると産卵率が低下していき、含有率 520ng/g 程度でほぼ産卵しなくなることがわかる。こうした底質の PAHs が産卵率に及ぼす影響は、高環になるほど明瞭であったため、図4に底質の粒径区分別高環 PAHs 含有率と産卵率の関係を示す。細かい粒径(0~250 $\mu$ m)に含有される高環 PAHs の産卵率に及ぼす毒性が比較的明瞭に表れている。ユスリカが経口摂取しやすい細かい粒径の底質に含有される高環 PAHs ほど、強い繁殖毒性を持ちうることを示唆された。

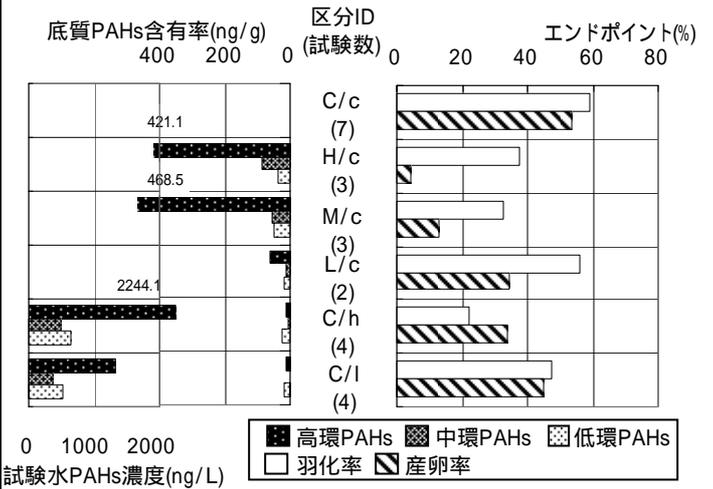


図1 試験区分における PAHs とエンドポイント (平均値)

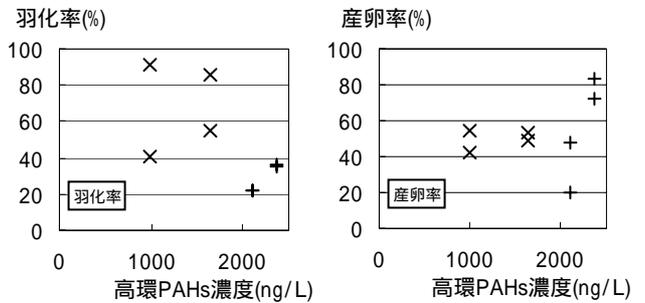


図2 試験水中の高環 PAHs 濃度とエンドポイントの関係

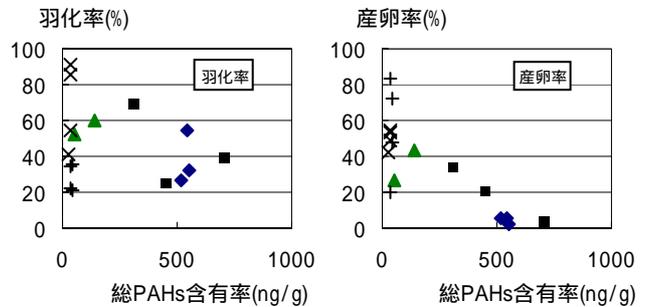


図3 底質の総 PAHs 含有率とエンドポイントの関係

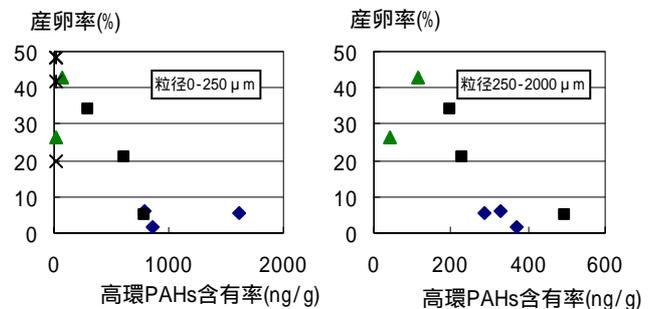


図4 底質の粒径区分別高環 PAHs 含有率と産卵率の関係

(3) 都市環境堆積物に関する実態調査をもとに、微量有害物質の流下過程における現存特性について検討した。また、採取した都市環境堆積物をユスリカに暴露させる生態毒性試験を実施し、底質含有成分のユスリカに対する成長阻害と繁殖阻害に関する基礎的な検討を試みた。以下に結果をまとめる。

流下過程における全 PAHs 含有率では、幹線道路を境に含有量が増加し、またその後流下距離とともに漸減する傾向があった。また、微小粒径に存在する PAHs は比較的残留性を示さない傾向であることがわかった。

高速道路近傍である st.01 における PAHs と先行期間降雨量の関係より、先行期間中の降雨量の増加とともに含有率が増加傾向を示しており、特に微細粒径に含有された汚濁物の降雨に対する応答性が高いことがわかった。

繁殖影響に関する生態毒性試験の結果、都市河川底質に暴露させた場合のユスリカの羽化率はおおむね 37.0~59.8%、産卵率はおおむね 62.5~87.9%であったのに対して、雨水堆積物に暴露させた場合には、羽化率・産卵率とも低下することがあり、道路塵埃に暴露させた場合には、羽化率・産卵率ともに極めて小さくなることがわかった。

本研究での繁殖試験は1世代のみの試験であったため、世代を介して及ぶ影響については検討が及ばなかった。今後さらに試験データが蓄積されることにより、詳細な影響特性が検討できるものと考えられる。

## 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9件)

著者名: Atsushi Ichiki, Hiroyuki Yamate, Norihisa Sakata, Yohei Takeuchi and Kosuke Hashimoto、論文標題: Simulating approach for pollutant runoff analysis through stormwater drainage system in southern basin of Lake Biwa, Japan、雑誌名: 8th International Conference on Urban Drainage Modelling, IWA&IAHR、査読: 有、巻: -、発行年: 2009、ページ: 443 - 444

著者名: Atsushi Ichiki and Vongsack Mixay、論文標題: Urban Runoff Pollutant Characteristics in Vientiane Capital, Lao PDR、雑誌名: Journal of Water and Environment Technology, Japan Society on Water Environment、査読: 有、巻: Vol.7, No.3、発行年: 2009、ページ: 177 - 185

著者名: Atsushi Ichiki, Fumio Ido and Tetsuharu Minami、論文標題: Comparison

of Runoff Pollutants through Highway Drainage and Urban River Based on Annual Surveys、雑誌名: 13th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2009)、IWA、査読: 有、巻: -、発行年: 2009、ページ: -

著者名: Atsushi Ichiki and Vongsack Mixay、論文標題: Urban runoff pollutant survey and SWMM simulation in Vientiane Capital, LAO PDR、雑誌名: 水工学論文集、査読: 有、巻: 53、発行年: 2009、ページ: 1099 - 1104

著者名: Atsushi Ichiki, Fumio Ido and Tetsuharu Minami、論文標題: Runoff characteristics of highway pollutants based on a long-term survey through a year、雑誌名: Water Science and Technology、査読: 有、巻: 57(11)、発行年: 2008、ページ: 1769 - 1776

著者名: Atsushi Ichiki and Vongsack Mixay、論文標題: Urban runoff pollutant characteristics in Vientiane Capital, Lao PDR、雑誌名: Proc. of 12th International Conference on Integrated Diffuse Pollution Management (IWA DIPCON 2008)、査読: 有、巻: -、発行年: 2008、ページ: -

著者名: Atsushi Ichiki, Fumio Ido and Tetsuharu Minami、論文標題: Runoff characteristics of highway pollutants based on a long-term survey through a year、雑誌名: Proc. of 11th Int'l Conf. on Diffuse Pollution and the 1st Joint Meeting of the IWA Diffuse Pollution and Urban Drainage Specialist Groups、査読: 有、巻: -、発行年: 2007、ページ: -

著者名: Atsushi Ichiki, Yosuke Mirra and Hiroki Suwa、論文標題: Ecological risk assessment of urban nonpoint pollution using *Chironomus yoshimatsui*、雑誌名: 13th International Symposium on Toxicity Assessment、査読: 無、巻: -、発行年: 2007、ページ: -

著者名: 市木敦之、三浦陽介、諏訪広樹、論文標題: セスジユスリカを用いた都市域ノンポイント汚染の生態リスク評価に関する基礎的研究、雑誌名: 環境システム研究論文集 2007、査読: 有、巻: 35、発行年: 2007、ページ: 417 - 424

[学会発表](計10件)

発表者名: 澤田育則、発表標題: 3ヶ年の灌漑期実測調査にもとづく水田由来汚濁物の流出特性とモデル化、学会名等: 第44回日本水環境学会年会、発表年月日: 2010年3月17日、発表場所: 福岡市(福岡県)

発表者名：相田芳明、発表標題：自動車交通由来の微量有害物質によるセスジユスリカの繁殖毒性に関する基礎的研究、学会名等：第 44 回日本水環境学会年会、発表年月日：2010 年 3 月 17 日、発表場所：福岡市（福岡県）

発表者名：大久保卓也、発表標題：琵琶湖集水域における面源負荷量原単位の再検討、学会名等：第 44 回日本水環境学会年会、発表年月日：2010 年 3 月 17 日、発表場所：福岡市（福岡県）

発表者名：三谷真也、発表標題：出水時一時貯留施設における降雨時流出汚濁物の収支に関する調査研究、学会名等：第 43 回日本水環境学会年会、発表年月日：2009 年 3 月 17 日、発表場所：山口市（山口県）

発表者名：澤田育則、発表標題：集落営農方式の水田群における汚濁物質の挙動・収支の比較 - 2 ヶ年の灌漑期実態調査にもとづいて -、学会名等：第 43 回日本水環境学会年会、発表年月日：2009 年 3 月 16 日、発表場所：山口市（山口県）

発表者名：北川彩音、発表標題：植生浄化施設における汚濁物質の流入特性および経済評価に関する調査研究、学会名等：第 43 回日本水環境学会年会、発表年月日：2009 年 3 月 16 日、発表場所：山口市（山口県）

発表者名：市木敦之、発表標題：インドネシア・カプアス川における重金属と PAHs に関する汚染実態調査、学会名等：第 43 回日本水環境学会年会、発表年月日：2009 年 3 月 16 日、発表場所：山口市（山口県）

発表者名：出井寛志、発表標題：営農組合により管理された水田群における汚濁物質の挙動と収支に関する実態調査、学会名等：第 42 回日本水環境学会年会、発表年月日：2008 年 3 月 21 日、発表場所：名古屋市（愛知県）

発表者名：市木敦之、発表標題：降雨に着目した道路交通由来の粒子状多環芳香族炭化水素に関する大気現存・挙動調査、学会名等：第 44 回環境工学研究フォーラム、発表年月日：2007 年 11 月 17 日、発表場所：山口県宇部市（山口県）

発表者名：兼近裕子、発表標題：都市域中小河川における多環芳香族炭化水素類（PAHs）の流出と流下過程における現存量変化に関する調査研究、学会名等：土木学会第 62 回年次学術講演会、発表年月日：2007 年 9 月 12 日、発表場所：東広島市（広島県）

研究者番号：90268152

(2)研究分担者（2007～2008 年度）

Muhandiki Victor (Muhandiki Victor)  
立命館大学・理工学部・講師  
研究者番号：10388118

(3)連携研究者（2009 年度）

Muhandiki Victor (Muhandiki Victor)  
名古屋大学・環境学研究科・特任准教授  
研究者番号：10388118

6. 研究組織

(1)研究代表者

市木 敦之 (ICHIKI ATSUSHI)  
立命館大学・理工学部・教授