

令和元年6月28日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02963

研究課題名(和文) 内分泌かく乱物質の網羅分析とマスバランス解析に基づくヒト曝露・生態リスク評価

研究課題名(英文) Evaluation of human exposure and ecological risk based on comprehensive analysis and mass-balance approach for endocrine disrupting chemicals

研究代表者

高橋 真 (Takahashi, Shin)

愛媛大学・農学研究科・教授

研究者番号：30370266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ベトナム北部や西日本で採取したダスト・大気試料を対象に内分泌かく乱物質等の一斉・網羅分析を行い、ベトナムの廃棄物処理地域ではPCB等による曝露リスクが高いことを指摘した。また、レポーター遺伝子アッセイで測定した試料中のダイオキシン様・PAH様活性の大部分が、未知の活性物質に起因することを示唆した。さらに、ダスト・土壌等の環境媒体や野生動物組織中の有機態ハロゲンに占める既知・未知化合物のマスバランスを解析した結果、有機態ハロゲンの多くが未知化合物であることを示した。新規に開発した網羅分析法により、それら未知化合物の一部は、ハロゲン化PAH類や塩素化パラフィン類等と推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で確立した一斉・網羅分析法やマスバランス解析法、in vitroバイオアッセイ法を統合した毒性寄与評価等を活用することで、従来よりもはるかに多くの微量有機汚染物質の測定が可能となるとともに、これまで見落とされてきた毒性寄与物質や残留性・生物蓄積性物質の存在量把握や対象未知物質の推定/同定が容易となる。また本研究により、ダイオキシン様活性や有機態ハロゲンに占める既知・未知物質のマスバランスを解明できたことは、環境・生態系における関連物質の分布や影響の理解にとって学術的に重要な知見であると同時に、今後の化学物質のリスク評価拡充につながる基礎情報となることから、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Dust and air samples collected from northern Vietnam and western Japan were examined by comprehensive analysis for multiple classes of organic micro-pollutants including endocrine disrupting chemicals. A considerable risk regarding to PCBs was noted in the waste recycling areas in Vietnam. Significant contributions of unknown compounds to dioxin-like and PAH-related activities detected by reporter gene assays in the samples were suggested in our effect-directed analysis. Based on a mass balance approach we estimated percentages of known/unknown POP-like compounds in total extractable organohalogen (EOX) in the dust, soil and some biological samples, indicating most of the EOX due to unknown compounds in many samples. A part of such unknown compounds were tentatively identified as halogenated PAHs (in a contaminated soil sample) and chlorinated paraffins (in a dust sample) by the newly developed analytical method using high resolution GCxGC-TOFMS.

研究分野：環境化学・環境計測学

キーワード：内分泌かく乱物質 ダイオキシン類縁化合物 残留性有機汚染物質 抽出可能有機ハロゲン(EOX) 網羅分析 マスバランス解析 レポーター遺伝子アッセイ 影響指向分析

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本をはじめとする先進諸国では、ポリ塩素化ビフェニール (PCBs) などの残留性有機汚染物質 (POPs) やダイオキシン類、その他内分泌かく乱物質について、法的な監視・管理体制の徹底が進められ、関連物質の生産・使用の規制や非意図的生成の削減が推進されている。一方、新興工業国や発展途上国においては、そうした化学物質に対する監視・管理体制が十分に整備されていない国々も多く、環境汚染の拡大やヒトの健康に対する悪影響が懸念されている。また、ヒトの健康や生態系に対する化学物質のリスクを評価するには、その物性や毒性情報とともに、実環境中の曝露実態に関する基礎情報が必要となる。しかしながら、従来の環境調査等では対象となる物質の種類に限りがあり、また二次生成物や分解物など含めた化学物質の毒性や環境負荷に係わる情報を網羅的に把握することは極めて困難である。従って、実環境中に残存、または生物に蓄積している多様な有害物質群を包括的・網羅的に検出可能な測定技術を確立するとともに、バイオアッセイ等を用いた影響指向分析<sup>1)</sup>などを活用し、優先的にリスク評価を実施すべき物質(群)を特定する新たな調査法の確立が求められてきた。

これまで著者らは、ハウスダスト<sup>1)</sup>や路上粉じん<sup>2)</sup>、野生高等動物<sup>3)</sup>などの環境・生物試料を対象に、*in vitro* レポーター遺伝子アッセイ CALUX を用いて、試料中のダイオキシン様活性や抗アンドロゲン様活性を測定するとともに、既知のダイオキシン類や多環芳香族化合物 (PAHs) POPs 等を分析し、試料中の各遺伝子転写活性に関与する既知・未知物質の活性寄与解析を行ってきた。また、中性子放射化分析等を用いて環境・生物試料中に存在する有機態ハロゲンの包括分析を行い、POPs 等に関する既報の分析結果と統合して、既知・未知ハロゲン化合物に関するマスバランス解析を行った<sup>4)</sup>。これら一連の研究により、一部の環境媒体や生物には、既知の POPs 等以外にも、高い蓄積性や内分泌かく乱活性等を有する未同定の物質(群)が含まれていることが示唆されている。よって、関連物質群のマスバランスや毒性応答寄与の解明、未知(活性)物質の探索・同定などさらなる基礎情報の収集が必要である。

### 2. 研究の目的

以上のような背景から、本研究では各種環境媒体や野生動物に残留・蓄積している POPs・ダイオキシン関連物質や内分泌かく乱物質に関する一斉・網羅分析を実施し、その化学形態や既知・未知物質のマスバランス、毒性応答寄与を解明するとともに、ヒトへの曝露リスク等について包括的に評価した。具体的には以下の2つの課題に関する研究を実施した。

(1) 都市・廃棄物処理地域のダスト・大気試料を対象として、微量有機汚染物質の一斉スクリーニングとターゲット分析を行い、その汚染実態とヒトへの曝露リスクを評価する。また、*in vitro* バイオアッセイを用いて、試料中のダイオキシン様・PAHs 様活性を測定し、化学分析の結果とあわせ、既知・未知活性物質の毒性応答寄与を解明する。

(2) 環境および生物試料に残留・蓄積する有機態ハロゲンの包括分析と化学形態測定を行って、既知・未知有機ハロゲン化合物のマスバランスを解明する。また、二次元ガスクロマトグラフ-飛行時間型質量分析装置 (GCxGC-TOFMS) による微量有機ハロゲン化合物の網羅分析により、未知有機ハロゲン化合物の探索・同定を試みる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 微量有機汚染物質の一斉・網羅分析とダイオキシン様・PAH 様活性の測定

2015年~2017年にかけて、ベトナム北部の都市・工業地域、郊外地域および使用済み自動車 (ELV) 解体処理施設からフロアダストおよび路上ダストを計 48 試料採取した。また、ポリウレタン樹脂 (PUF) ベースのパッシブエアサンプラー (PAS)<sup>5)</sup> をベトナム北部の都市域や ELV 解体処理施設、資源リサイクル処理施設に設置し、大気試料中の微量有機汚染物質を捕集した。また、2017年~2018年にかけて同様の PAS を用いたサンプリングを西日本の都市域および ELV 解体処理施設・自動車整備施設で行った。PUF 捕集物質の大気濃度への換算には、既報<sup>5)</sup>のサンプリングレート (屋外: 3.5 m<sup>3</sup>/day、屋内: 2.5 m<sup>3</sup>/day) を適用した。

PUF 試料やダスト試料は、ソックスレー抽出器または超音波抽出器を用いて有機溶媒抽出し、硫酸シリカゲルカラムまたは活性シリカゲルカラムにより精製した。微量有機汚染物質の一斉スクリーニングには環境分析向け一斉分析用データベース<sup>6)</sup>を内蔵したガスクロマトグラフ四重極型質量分析装置 (GC-qMS) を用い、942 物質の一斉スクリーニング (半定量) を行った。また、PCBs 全 209 異性体をガスクロマトグラフ高分解能質量分析装置 (GC-HRMS) で、PAHs およびメチル化 PAHs (MePAHs) 34 化合物、ポリ臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) 2~10 臭素化体、新規臭素系難燃剤 4 物質 (NBFRs) を GC-qMS で測定した。また、ELV 処理地域等から採取した一部ダスト試料については、塩素化ダイオキシン類 (PCDD/DFs)、ダイオキシン様 PCBs (DL-PCBs)、臭素化ダイオキシン類 (PBDD/DFs) を GC-HRMS により測定した。さらに一部ダスト試料抽出液を、硫酸シリカゲルカラムおよび硝酸銀シリカゲルカラムにより精製・分画を行い、*in vitro* レポーター遺伝子アッセイ DR-CALUX を用いてダイオキシン様活性を測定した。本研究では既報<sup>7)</sup>に従って、試料抽出液分画後のダイオキシン様活性を、主に塩素化ダイオキシン類に由来する活性 (TCDD-EQ<sub>Cl</sub>) と臭素化ダイオキシン類等に由来する活性 (TCDD-EQ<sub>Br</sub>) に分けて測定した。また同一ダスト試料抽出液を活性シリカゲルカラムで精製し、PAH-CALUX<sup>2)</sup>を用いて PAH 様活性 (BaP-EQ) を測定した。

#### (2) 有機態 (無機態) ハロゲンのマスバランス解析と有機ハロゲン化合物の網羅分析

環境媒体試料として、認証値付標準物質の森林土壌 (JSAC SRM 0422・SRM0421)、ハウダスト (NIST SRM 2585)、大気粉塵 (NIST SRM 1648a)、都市ごみ焼却灰 (JSAC SRM 0511・SRM0512) を対象とした。また、既報の研究で関連ハロゲン等の測定が行われている水田土壌<sup>8)</sup>、森林土壌<sup>9)</sup>、電子・電気機器廃棄物 (E-waste) 野焼き土壌<sup>4)</sup> についても測定対象とした。試料は水溶液で洗浄し、難水溶性画分の塩素・臭素を燃焼イオンクロマトグラフィーおよび X 線吸収端近傍構造解析 (XANES) 法を用いて、芳香族 / 脂肪族 / 無機態の化学種別に定量した。また、抽出可能有機塩素 (EOCl)・臭素 (EOBr) については、アセトン、ヘキサン、トルエンを用いて、試料を抽出し、水洗した後、ゲル浸透カラムクロマトグラフィー (GPC) を用いて低分子量画分 (分子量 1000 未満) と高分子量画分 (分子量 1000 以上) に分画し、それぞれ中性子放射化分析により塩素・臭素を定量した。野生高等動物の臓器・組織試料は、愛媛大学生物環境試料バンク (es-BANK) に保管されていたスジイルカ、スナメリの脂質試料、スジイルカ、ネコ、タヌキの肝臓試料を測定対象とした。これら生物試料は、アセトンおよびヘキサンで有機溶媒抽出し、GPC による分画を行って、低分子量・高分子量画分の塩素・臭素を中性子放射化分析により定量した。マスバランスの解析にあたっては、認証値や先行研究等<sup>4,10-12)</sup> で報告されている有機塩素化合物および有機臭素化合物について塩素・臭素濃度に換算し、EOCl・EOBr 濃度と比較した。

未知ハロゲン化合物の探索・同定には、高分解能の GCxGC-TOFMS を利用した。GPC 処理後の低分子量画分の試料について、GCxGC-TOFMS による精密質量測定を行い、新規に開発した網羅分析向けのデータ解析プログラムを用いて、有機ハロゲン化合物を同定した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 都市・廃棄物処理地域における汚染実態、曝露リスクの評価と毒性寄与解析

微量有機汚染物質 (OMPs) の一斉スクリーニングの結果、ベトナムの ELV 処理施設および都市一般住居より採取したダスト試料から、合計 196 種の OMPs が検出された。検出された OMPs の総濃度は、ELV 処理施設において最大 92700 ng/g、都市一般住居において最大 24900 ng/g であった。また、PAS で捕集した大気試料からは、合計 167 種の OMPs が検出された。検出された OMPs の総濃度は、都市域で最大 2600 ng/m<sup>3</sup>、ELV 処理施設で最大 1700 ng/m<sup>3</sup>、資源リサイクル処理施設で最大 1300 ng/m<sup>3</sup> であった。OMPs のスクリーニングの結果から、とくに ELV 処理施設のダスト試料において、PAHs 関連物質やゴム・樹脂添加剤の濃度が高く、一部施設の試料からは PCBs が高濃度 (1310 ~ 2200 ng/g) で検出された。従って、ELV 処理施設における特異な PAHs・PCBs 発生源の存在が示唆された。

さらに、ベトナム北部および西日本の ELV 処理施設や都市域において PAS による大気試料の捕集を行い、PCBs、PAHs・MePAHs、PBDEs・NBFRs を測定した。その結果、ベトナム北部の都市域や ELV 処理施設における PCBs 濃度 (最大 2500 pg/m<sup>3</sup>) は、西日本の都市域や ELV 処理施設等よりも概して高く、とくに大型・旧式車両を解体処理している施設の大気試料から高濃度の PCBs が検出された。すなわち、ベトナムの ELV 解体処理施設では、それら車両の解体処理に伴って PCBs が排出されていることが推察された。さらに、同処理地域では、DL-PCBs や燃焼起源の PAHs の濃度も、他地域より顕著に高く、破碎残渣の野焼き等による影響が推察された。

ベトナムの都市・工業地域、郊外域および廃棄物処理地域から採取したダスト試料について、PCBs、PAHs・MePAHs、PBDEs・NBFRs を測定し、それぞれの地域における成人および小児への取込量について推定した。その結果、ELV 処理地域の小児において、PCBs の推定取込量 (最大 10 ng/kg/day) が、米国 ATSDR の基準容量 (20 ng/kg/day) に近いことから、その曝露リスクが懸念された。さらに、それらダスト試料の一部について、*in vitro* バイオアッセイによる抽出試料中のダイオキシン様活性および PAHs 様活性を測定した。その結果、ダスト試料からは 9.0-390 pg TCDD-EQ<sub>Cl</sub>/g、37-3700 pg TCDD-EQ<sub>Br</sub>/g のダイオキシン様活性が検出され、とくに ELV 処理地域において高値が示された。また、多くの地点において TCDD-EQ<sub>Cl</sub> よりも TCDD-EQ<sub>Br</sub> が高いことから、PCDD/DFs や DL-PCBs 等の塩素化ダイオキシン類よりも、通常モニタリングの測定対象となっていない PBDD/DFs やミックスハロゲン化ダイオキシン類 (PXDD/DFs) 等に起因する活性寄与の高いことが推察された。本研究における以上の結果は、とくに廃棄物処理地域等におけるダイオキシン類の曝露リスク評価では、PBDD/DFs や PXDD/DFs 等の類縁化合物を含めた調査が重要であることを示している。また、PAH 様活性については 1,100-44,000 ng BaP-EQ/g のレベルで検出された。PAH 様活性についても概して ELV 処理地域のダスト試料で高く、また一部の都市幹線道路の試料でも高値を示した。

GC-HRMS によるダイオキシン類縁化合物の一斉分析の結果と既報<sup>1,7)</sup> における関連異性体標準物質の CALUX における比活性 (REP) 値から、理論的な TEQ を求め、上記のバイオアッセイで得られた活性値と比較すると、多くのケースで理論的 TEQ はバイオアッセイの活性値を下回っており、とくに塩素化ダイオキシン類を含まない抽出試料分画においてその差が非常に大きくなることが明らかとなった。従って、それらの画分に未同定の PBDD/DFs や PXDD/DFs 等のダイオキシン類縁化合物、またはハロゲン化 PAHs 等のアリルヒドロカーボン受容体 (AhR) に対する未知アゴニストが存在すると考えられる。また、PAHs および MePAHs の測定結果についても、同様の手法で理論的 BaP-EQ を求め、バイオアッセイで得られた活性値と比較すると、ほとんどの試料でバイオアッセイの活性値が理論的 BaP-EQ の数倍 ~ 1 桁程

度高い値となり、このことから未知の AhR アゴニストの存在が示唆された。

(2) 有機態ハロゲンのマスバランス解析と未知化合物の探索・同定

環境媒体試料における難水溶性画分の有機態塩素・臭素の測定の結果、有機態塩素は、ハウスダスト（最高濃度 870  $\mu\text{g/g}$ ）、大気粉塵、森林土壌等で高濃度であり、有機態臭素は、大気粉塵（最高濃度 120 $\mu\text{g/g}$ ）、森林土壌、飛灰において高濃度であった。塩素の場合、難水溶性画分には無機態塩素も相当量存在し、とくに焼却灰においては無機態が卓越的であった。また、有機態塩素の化学形態に着目すると、ほとんどの試料で芳香族系の割合が高く、ハウスダストのみ脂肪族系の割合が高かった。一方、難水溶性画分の臭素は無機態の割合が少なく、ほとんどが有機態であった。有機態臭素の化学形態は、大気粉塵と森林土壌で脂肪族系がそれぞれ 25%、46%存在していたが、その他環境媒体では芳香族系が卓越的であった。

高分子量 (EOCl-H) および低分子量 (EOCl-L) の抽出可能有機塩素は、大気粉塵で最も高濃度 (EOCl-H: 74  $\mu\text{g/g}$ , EOCl-L: 98  $\mu\text{g/g}$ ) であり、ついで E-waste 野焼き土壌が高濃度を示した。ハウスダストでは EOCl-H が EOCl-L よりも高く、PVC 等の繊維や樹脂または生物由来の高分子脂肪族化合物の存在が推察された。また、EOCl-L に占める既知有機塩素 (PCBs、PCDD/DFs、Cl-PAHs 等) の割合は、ハウスダストで 8.7%、E-waste 野焼き土壌で 0.96–1.6% となり、その他ほとんどの試料において、1%以下となった。すなわち、EOCl-L の大半は未同定の有機塩素化合物であった。一方、高分子量 (EOBr-H) および低分子量 (EOBr-L) の抽出可能有機臭素は、大気粉塵 (EOBr-H: 5.2  $\mu\text{g/g}$ , EOBr-L: 14  $\mu\text{g/g}$ ) および一部 E-waste 野焼き土壌 (EOBr-H: 6.4  $\mu\text{g/g}$ , EOBr-L: 13  $\mu\text{g/g}$ ) において高濃度であり、多くの試料で EOBr-H よりも EOBr-L の濃度が高かった。とくにハウスダスト、E-waste 野焼き土壌では、EOBr-L が EOBr-H を大きく上回っており、臭素系難燃剤やその分解生成物の存在が示唆された。EOBr-L に占める既知有機臭素 (PBDEs、PBDD/DFs、Br-PAHs 等) の割合は、ハウスダストでは約 8 割が PBDEs に由来することが示された。また、E-waste 野焼き土壌では、PBDEs および PBDD/DFs が 36% を占めていたが、その他にも臭素系難燃剤の熱化学反応による多様な二次生成物が未同定物質 (群) として含まれると推察された。

ハウスダストおよび E-waste 野焼き土壌の抽出試料について、GCxGC-TOFMS を用いた未知ハロゲン化合物の探索・同定を行った結果、ハウスダストでは、塩素化パラフィン類と思われるマススペクトルが観測された。塩素化パラフィン類のうち、短鎖塩素化パラフィン類 (SCCP) は、2017 年に POPs 条約の第 8 回締約国会議において、新規対象物質 (附属書 A) に指定され、わが国の化審法でも第一種特定化学物質に指定された。SCCP の環境負荷に関する基礎情報は、いまだ限られていることから、今後のさらなる調査が必要である。また、E-waste 野焼き土壌からは、既報<sup>13)</sup> の PBDD/DFs や PXDD/DFs と併せて、多数のミックスハロゲン化 PAHs (XPAHs) 等が検出された。本研究の結果は、E-waste 等廃棄物の不適処理現場では、既知のダイオキシン類や PAHs 等以外にも毒性的に重要と考えられる同定・定量の困難な低分子有機ハロゲン化合物が多種存在することを示している。

さらに野生高等動物の脂質・肝臓試料における有機態塩素 (EOCl-H・EOCl-L) と有機態臭素 (EOBr-H・EOBr-L) を測定した結果、海棲高等動物であるスジイルカで高濃度の EOCl (肝臓中 240 $\pm$ 10  $\mu\text{g lipid wt}$ ) および EOBr (肝臓中 110 $\pm$ 7.8  $\mu\text{g lipid wt}$ ) の蓄積が認められた。また、有機態臭素の EOBr-H と EOBr-L の濃度は、動物種によって大きく異なり、スジイルカでは相対的に EOBr-L が高いのに対して、ネコやタヌキでは EOBr-H が卓越的であった。これら動物種の EOCl-L に占める既知有機塩素 (PCBs、DDTs、CHLs 等) の割合は、スジイルカ肝臓で平均 79% と高い寄与率が示された。一方、ネコ肝臓やタヌキ肝臓では、一部検体を除き、概ね数%程度であった。すなわち、スジイルカ肝臓に蓄積する EOCl-L では PCBs や DDTs といった既知の塩素系 POPs の寄与が大きいこと、ネコやタヌキの肝臓に蓄積する EOCl-L のほとんどは未知の有機塩素化合物であることが示唆された。一方、EOBr-L に占める既知有機臭素 (PBDEs、HBCDs 等) の割合は、ネコの肝臓で平均 36% と高く、スジイルカ肝臓やタヌキ肝臓では 1%前後と低かった。ネコで PBDEs 等の寄与が高いことは、室内環境における臭素系難燃剤等の曝露を反映するものと考えられる。

スジイルカの脂質抽出物について、GCxGC-TOFMS による未知ハロゲン化合物の探索・同定を行った結果、メトキシ化 PBDEs など天然由来と推定される有機臭素化合物が多数検出された。今後も野生高等動物に蓄積している未知のハロゲン化合物の探索・同定を進めるとともに、その起源や毒性学的な重要性について多面的に評価する必要がある。

<引用文献>

- 1) Suzuki G, et al. (2014) *Current Organic Chemistry* 18, 2231-2239.
- 2) Tuyen LH, et al. (2014) *Environ Pollut* 194, 272-280.
- 3) Misiaki K, et al. (2015) *Environ Sci Technol* 49, 11840-11848.
- 4) Nishimura C, et al. (2014) *Organohalogen Compd* 76, 1038-1042.
- 5) Anh HQ, et al. (2019) *Ecotoxicol Environ Safety* 167, 354-364.
- 6) Kadokami K, et al. (2005) *J Chromatogra A* 1089: 219-226.
- 7) Suzuki G, et al. (2017) *Anal Chim Acta* 975, 86-95.
- 8) Takeda A, et al. (2011) *Soil Sci Plant Nutr* 57, 19-28.
- 9) Fujii K, et al. (2008) *Geoderma* 144, 478-490.
- 10) Isobe T, et al. (2009) *Mar Pollut Bull* 58, 396-401.

11) Nomiyama K, et al. (2017) *Environ Sci Technol* 51, 5811-5819.

12) Kunisue T, et al. (2007) *Environ Sci Technol* 42, 685-691.

13) Tue NM, et al. (2016) *J Hazard Mater* 302, 151-157.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

Mukai K, Fujimori T, Shiota K, Takaoka M, 2019, Quantitative speciation of insoluble chlorine in e-waste open burning soil: implications of the presence of unidentified aromatic-Cl and insoluble chlorides. *Chemosphere*, 233, 493-502. (査読有) DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.05.283

Mukai K, Fujimori T, Shiota K, Takaoka M, Funakawa S, Takeda A, Takahashi S, 2019, Quantitative speciation of insoluble chlorine in environmental solid samples. *ACS Omega*, 4(4), 6126-6137. (査読有) DOI: 10.1021/acsomega.9b00049

Anh HQ, Tomioka K, Tue NM, Tuyen LH, Chi NK, Minh TB, Viet PH, Takahashi S, 2019, A preliminary investigation of 942 organic micro-pollutants in the atmosphere in waste processing and urban areas, northern Vietnam: levels, potential sources, and risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167, 354-364. (査読有) DOI: 10.1016/j.ecoenv.2018.10.026

Anh HQ, Watanabe I, Tomioka K, Minh TB, Takahashi S, 2019, Characterization of 209 polychlorinated biphenyls in street dust from northern Vietnam: Contamination status, potential sources, and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 652, 345-355. (査読有) DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.240

Nishimura C, Suzuki G, Matsukami H, Agusa T, Takaoka M, Takahashi S, Tue NM, Viet PH, Tanabe S, Takigami H, Fujimori T, 2018, Soil pollution by chlorobenzenes and polychlorinated biphenyls from an electronic waste recycling area in Northern Vietnam, *International Journal of Environment and Pollution*, 63(4), 283-297. (査読有) DOI: 10.1504/IJEP.2018.097863

Anh HQ, Tomioka K, Tue NM, Suzuki G, Minh TB, Viet PH, Takahashi S, 2018, Comprehensive analysis of 942 organic micro-pollutants in settled dusts from northern Vietnam: pollution status and implications for human exposure. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 57-66. (査読有) DOI: 10.1007/s10163-018-0745-2

Anh HQ, Tomioka K, Tue NM, Tri TM, Minh TB, Takahashi S, 2018, PBDEs and novel brominated flame retardants in road dust from northern Vietnam: Levels, congener profiles, emission sources and implications for human exposure. *Chemosphere*, 197, 389-398. (査読有) DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.01.066

Tue NM, Goto A, Takahashi S, 他 5 名, 2016, Soil contamination by halogenated polycyclic aromatic hydrocarbons from open burning of e-waste in Agbogbloshie (Accra, Ghana), *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19, 1324-1332. (査読有) DOI: 10.1007/s10163-016-0568-y

[学会発表](計 22 件)

向井康太, 他 4 名, 分子量で分画した様々な媒体における抽出可能性有機塩素・臭素. 第 27 回環境化学討論会, 2018.

高橋 真, 他 7 名, 使用済み自動車解体処理現場等における大気中 POPs・PAHs 関連物質の存在と発生源解析. 第 27 回環境化学討論会, 2018.

Anh HQ, 他 4 名, Takahashi S, The occurrence of polychlorinated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers and novel brominated flame retardants in road dusts from some areas in northern Vietnam. 第 27 回環境化学討論会, 2018.

Mukai K, 他 6 名, Characterization of extractable organohalogen (EOX) in biological samples. 2nd Chemical Hazard Symposium, 2018.

Takahashi S, 他 7 名, Integrated exposure and effect analysis for dioxins and related compounds: How to watch the mixtures/hidden hazards? 2nd Chemical Hazard Symposium, 2018.

Mukai K, 他 6 名, Speciation of extractable organohalogen according to molecular size in various environmental matrices. 38th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2018), 2018.

Mukai K, 他 6 名, Contributions of known persistent organic pollutants (POPs) to extractable organochlorine or organobromine (EOX) in various environmental matrices: with consideration of molecular size. 2nd International KAMPAI Symposium & JST Mid-term Evaluation Meeting, 2018.

向井康太, 他 6 名, 燃焼イオンクロマトグラフィーを用いた環境固体試料中の総有機ハロゲン濃度(TOX)測定: 種々の環境固体試料への適用. 第 26 回環境化学討論会, 2017.

向井康太, 他 4 名, 燃焼イオンクロマトグラフィーを用いた環境固体試料中の総有機ハロゲン

ン濃度(TOX)測定：前処理方法の検討．第 26 回環境化学討論会，2017．

高橋 真，他 6 名，ベトナムの使用済み自動車解体処理地域における化学物質汚染(第四報)  
- GC/MS 一斉分析用データベースを用いたダスト試料の測定 - 第 26 回環境化学討論会，  
2017．

後藤哲智，他 4 名，GCxGC-TOFMS による残留性有機汚染物質の網羅的スクリーニング．  
第 65 回質量分析総合討論会，2017．

Takahashi S, 他 9 名, Contamination and human exposure to hazardous substances in  
modern waste recycling sites in Vietnam. 19th International Symposium on Pollutant  
Responses in Marine Organisms, 2017.

Nomiyama K, 他 8 名, Nontargeted comprehensive analysis for persistent  
organohalogen compounds in finless porpoises from Seto Inland Sea. 19th International  
Symposium on Pollutant Responses in Marine Organisms, 2017.

Takemori H, 他 3 名, Screening of organohalogen compounds accumulated in marine  
mammals by using GC-HRTOFMS. 19th International Symposium on Pollutant  
Responses in Marine Organisms, 2017.

Anh HQ, 他 5 名, Screening analysis of organic pollutants in dusts from ELV recycling  
and urban areas in northern Vietnam. 19th International Symposium on Pollutant  
Responses in Marine Organisms, 2017.

Mukai K, 他 6 名, Quantification of total organohalogens (TOX) in environmental solid  
samples by using combustion-ion chromatography. 37th International Symposium on  
Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2017), 2017.

Takahashi S, 他 7 名, Toxicity identification evaluation of dioxin-related compounds in  
dust from end-of-life vehicle recycling sites in northern Vietnam. 37th International  
Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2017), 2017.

Takahashi S, Contamination and human exposure to micropollutants including  
dioxin-related compounds in informal recycling sites for e-waste and end-of-life vehicles.  
37th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN  
2017), 2017.

Takahashi S, 他 6 名. Assessment of micropollutants released from recycling activities of  
end-of-life vehicles (ELV) in northern Vietnam. 4th International Conference on Final  
Sinks, 2017.

Mukai K, 他 6 名, Total concentrations and chemical forms of chlorine in insoluble  
fractions of environmental solid samples. Chemical Hazard Symposium, 2017.

- ⑳ Mukai K, 他 6 名, Different characteristics of insoluble chlorine in nature, living  
environment and waste incineration. HUST & KU International Symposium on the  
Education & Research of the Global Environmental Studies in Asia w/ 10th AUNSEED/  
Net Regional Conference on Environmental Engineering, 2017.

- ㉑ 高橋 真，他 5 名，ベトナムの使用済み自動車解体処理地域における化学物質汚染(第三報)  
ダスト中ダイオキシン様活性物質に関する毒性同定評価．第 25 回環境化学討論会，  
2016.

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：藤森 崇

ローマ字氏名：(FUJIMORI, Takashi)

所属研究機関名：京都大学

部局名：大学院工学研究科

職名：助教

研究者番号：20583248

研究分担者氏名：野見山 桂

ローマ字氏名：(NOMIYAMA, Kei)

所属研究機関名：愛媛大学

部局名：沿岸環境科学研究センター

職名：准教授

研究者番号：30512686

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。