

リン酸エステル系難燃剤による国内水環境汚染の実態

Contamination of organophosphorus flame retardants in water environment of Japan

加藤 みか^{1*}・西野 貴裕¹・宮沢 佳隆¹・飯田 有香¹・東條 俊樹²・
浅川 大地²・市原 真紀子²・大方正倫²・松村 千里³・羽賀 雄紀⁴・
吉識 亮介⁵・梶 拓也³・長谷川 瞳⁶・宮脇 崇⁷・
高橋 浩司⁸・片宗 千春⁹・高澤 嘉一¹⁰

Mika KATO^{1*}, Takahiro NISHINO¹, Yoshitaka MIYAZAWA¹, Yuka IIDA¹, Toshiki TOJO²,
Daichi ASAKAWA², Makiko ICHIHARA², Masanori OOKATA², Chisato MATSUMURA³, Yuki HAGA⁴,
Ryosuke YOSHIKI⁵, Takuya KAKOI³, Hitomi HASEGAWA⁶, Takashi MIYAWAKI⁷,
Koji TAKAHASHI⁸, Chiharu KATAMUNE⁹ and Yoshikatsu TAKAZAWA¹⁰

¹ 公益財団法人 東京都環境公社 東京都環境科学研究所 環境リスク研究科

² 大阪市立環境科学センター 調査研究グループ

³ 公益財団法人 ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター 水環境科

⁴ 兵庫県 環境部 水大気課

⁵ 兵庫県 北播磨県民局

⁶ 名古屋市環境科学調査センター 環境科学室

⁷ 北九州市立大学 国際環境工学部

⁸ 福岡県保健環境研究所 環境科学部 水質課

⁹ 福岡県保健環境研究所 保健科学部 病理細菌課

¹⁰ 国立研究開発法人 国立環境研究所 環境リスク・健康領域 基盤計測センター

¹ Environmental Risk Research Section, Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection

² Survey & Research Group, Osaka City Research Center of Environmental Sciences

³ Water Environmental Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences

⁴ Water & Air Quality Control Division, Environmental Management Department, Hyogo Prefecture

⁵ Hyogo Prefecture, Kitaharima District

⁶ Environmental Science Office, Nagoya City Institute for Environmental Sciences

⁷ Faculty of Environmental Engineering, The University of Kitakyushu

⁸ Division of Water Science, Department of Environmental Science, Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

⁹ Division of Pathology and Microbiology, Department of Health Science,

Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

¹⁰ Health and Environmental Risk Division Center for Environmental Standards and Measurement,

National Institute for Environmental Studies

摘 要

幅広い製品に使用されているリン酸エステル系難燃剤 (PFRs) について、複数の地方環境研究所との共同研究等により、国内水環境における実態調査を実施した。5 都市 (東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県) 33 河川等の公共用水域水質において、8 種類の PFRs が検出下限値未満~1,400 ng/L で広範囲に検出された。全体的に含塩素のリン酸トリス (2-クロロエチル) (TCEP), リン酸トリス (2-クロロイソプロピル) (TCPP), リン酸トリス (2-ブトキシエチル) (TBOEP) の3種の濃度が高く、特に下水処理水の影響を受けやすい地点等において、高頻度で検出される傾向が見られた。また、リン酸トリス (1,3-ジクロロ-2-プロピル) (TDCPP) については、予測無影響濃度 (PNEC) を超える地点が確認されるなど、国内公共用水域水質における PFRs の濃度レベルや組成等の汚染実態を明らかにした。

キーワード : 生態リスク, 水環境, 有機リン酸エステル類 (OPEs),
リン酸エステル系難燃剤 (PFRs)

Key words : ecological risk, water environment, organophosphate esters (OPEs),
organophosphorus flame retardants (PFRs)

受付 : 2022 年 9 月 1 日, 受理 : 2022 年 11 月 24 日

* 〒136-0075 東京都江東区新砂 1-7-5, E-mail : kato-mi@tokyokankyo.jp

1. はじめに

家電製品、住宅の建材、衣食住に関わる日用品等、身の回りの製品に使用されている多種多様な化学物質によって、私たちの安全・安心・快適な生活は支えられている。例えば、プラスチック・繊維製品等には、機能性の維持・向上のために、難燃剤、可塑剤、酸化防止剤等々、様々な化学物質が添加されているが、なかでも難燃剤は、住宅や車両等における火災の発生や延焼を防ぎ、私たちの生命を守る重要な役割を果たすものである。

難燃化技術は、1970年代の高分子研究と並行して進展し、プラスチック製品等の普及とともに、リン酸エステル系難燃剤(organophosphorus flame retardants, PFRs)や臭素系難燃剤(brominated flame retardants, BFRs)の使用量も急増している。日本の難燃剤需要量は、1985年の合計9.7万tから2005年までの20年間で約2倍に増加しており、特に、臭素系とリン系の難燃剤が約3.5倍に伸びている(北野, 2016)。

BFRsについては、ポリ臭素化ビフェニル(polybrominated biphenyls, PBBs)やポリ臭素化ジフェニルエーテル(polybromodiphenylethers, PBDEs)等の一部の物質において、人の健康や生態系への影響が指摘され(Jansson *et al.*, 1987; Andersson and Blomkvist, 1981; Meironytė *et al.*, 1999; Noren and Meironyte, 2000; Rahman *et al.*, 2001; de Wit, 2002; European Chemicals Bureau, 2002)。1990年代にはPBDEsの一部について難燃剤業界での自主管理が進み、欧州のWEEE指令(廃電気電子機器指令)やRoHS指令(電気・電子機器における特定有害物質の使用制限指令)が施行され、2006年にPBBsとPBDEsの製品中への使用が制限された。さらには、PBDEsの代替物質の1つであったヘキサブプロシクロドデカン(hexabromocyclododecane, HBCD)についても、2013年に残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約(POPs条約)の附属書A(廃絶)に追加されて、翌年には化審法の第一種特定化学物質として製造・輸入が原則禁止とされた。また、BFRsを用いたプラスチック製造時や廃棄時の焼却処理における臭素化ダイオキシン類の生成が問題視され(Dumler *et al.*, 1989a; 1989b; 環境省, 2003; Watanabe and Sakai, 2003)。2000年頃からPFRsの需要が伸びて、2015年の日本の需要量は約2.8万t、難燃剤全体の20%を占めている(北野, 2016)。難燃剤として使用される有機リン酸エステル類(organophosphate esters, OPEs)は、可塑剤として使用される物質もあり、電気電子機器等の身の回りの製品に含有していることから、室内や大気環境等、様々な環境媒体において広く検出されている(Takigami *et al.*, 2009; 斎藤ほか, 2004; 2008)。OPEsには、発がん性、神経毒性、アレルギー感受性、内分泌かく乱作用を有する

と指摘される物質もあり、製造・使用・廃棄に伴う環境汚染による人の健康や生態系への影響も懸念され(Matthews *et al.*, 1993; van der Veen and de Boer, 2012; Ireland (lead) and United Kingdom, 2008; Li *et al.*, 2020; Chokwe *et al.*, 2020; Liu, 2020)。PFRsに関するリスク評価が国際的にも必要視されている(松神ほか, 2014)。

著者らは、地方環境研究所5機関との共同研究による環境研究総合推進費研究(5-1602)「多種新規化学物質の網羅的モニタリングと地域ネットワークを活用した統合的評価・管理手法の開発」(2016-2018)において、大都市圏の水域を中心として、液体クロマトグラフ四重極飛行時間型質量分析計(liquid chromatograph quadrupole time-of-flight mass spectrometer, LC-QTOFMS)や全自動同定・定量データベース(automated identification and quantification system with a database, AIQS-DB)を用いたガスクロマトグラフ質量分析計(gas chromatograph mass spectrometer, GC-MS)の網羅分析と生態毒性情報を考慮して、優先的に調査すべき物質を選定し、選定物質の詳細分析にて環境実態把握・リスク評価を効率的に行う手法を提案している。実際に、この網羅分析により、PFRsや医薬品・化粧品(Pharmaceuticals & Personal Care Products, PPCPs)等の生活由来化学物質が大都市圏の水域において高頻度で検出されたことから、これらを優先調査物質として、環境実態把握を進めてきた(環境省, 2019a)。また、国立環境研究所と複数の地方環境研究所との第II型共同研究「高リスクが懸念される微量化学物質の実態解明に関する研究」(2016-2018)において、PFRsの分析方法を検討し(加藤ほか, 2018)、各参画機関にて、共通した分析方法により水環境実態調査を実施してきた。

さらに、環境研究総合推進費研究(5-1954)「国内における生活由来化学物質による環境リスク解明と処理技術の開発」(2019-2021)における地方環境研究所4機関等との共同研究では、排出源の影響を考慮した地点も含めて、PPCPsやPFRs等の環境実態把握・生態リスク評価を実施するとともに(環境省, 2022a)、第II型共同研究「LC-MS/MSによる分析を通じた生活由来化学物質のリスク解明に関する研究」(2019-2021)の参画機関から、各地域の水質試料提供の協力をいただき、2019年度から全国レベルでの環境実態調査を進めてきた(加藤ほか, 2020)。

本稿では、これらの共同研究等によって実施したPFRsの環境実態把握を目的とした研究のうち、公共用水域における水質調査の概要を中心に報告する。

2. 調査方法

2.1 対象物質

分析対象は、国内5都市域(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県)の公共用水域水質の LC-QTOF-MS や AIQS-GC-MS による網羅分析において、比較的高頻度で検出された物質を含めて、リン酸トリエチル (triethyl phosphate, TEP), リン酸トリプロピル (tripropyl phosphate, TPrP), リン酸トリブチル (tributyl phosphate, TBP), リン酸トリフェニル (triphenyl phosphate, TPhP), リン酸トリス(2-クロロエチル) (tris(2-chloroethyl) phosphate, TCEP), リン酸トリス(2-クロロイソプロピル) (tris(2-chloroisopropyl) phosphate, TCPP), リン酸トリス(1,3-ジクロロ-2-プロピル) (tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate, TDCPP), リン酸トリス(2-ブトキシエチル) (tris(2-butoxyethyl) phosphate, TBOEP) の表 1 (van der Veen, I. and de Boer, J. 2012) に示した 8 種類の PFRs を対象とした。

2.2 調査地点

水質試料の調査地点について、東京都内においては、公共用水域(荒川水系 5 河川(荒川, 隅田川, 神田川, 新河岸川, 柳瀬川) 15 地点, 利根川水系 3 河川(中川, 江戸川, 大場川) 5 地点, 多摩川水系 10 河川(多摩川, 浅川, 大栗川, 日原川, 秋川, 平井川, 谷地川, 残堀川, 平瀬川, 仙川, 野川) 19 地点, 呑川 1 地点, 運河 2 地点, 東京湾 8 地点) の合計 50 地点で、都内の幅広い地点を選定した。4 都市域は、名古屋市 ((3 河川(山崎川, 堀川, 新堀川) 7 地点), 大阪市 (5 河川(神崎川, 城北川, 木津川, 淀川, 第二寝屋川) 9 地点), 兵庫県 (3 河川(加古川, 武庫川, 猪名川) 8 地点), 福岡県 (3 河川(多々良川, 宇美川, 須恵川) 6 地点)) の合計 30 地点で、各都市の主要河川の主に中下流域の地点とした。

水質の調査期間は、2017 年 5 月~2022 年 1 月で、一部の地点においては、複数年、1 年に寒冷期と温暖期の 2 回、さらに、日内変動を考慮して 1 日に午前と午後の 2 回、調査を実施した。

2.3 分析方法

水質の分析は、環境省の「化学物質環境実態調査実施の手引き」(環境省, 2016) に準拠して行った。

2.3.1 水質試料の分析方法

水質試料は、橋または船上から、SUS 製バケツを用いて表層水を採水し、ガラス瓶に採取した。

水質試料 200 mL にサロゲート溶液(各対象物質の重水素ラベル化体混合, 各 1.0 mg/L) を 10 μ L 添加し、固相カートリッジ(InertSep Glass PLS-3, 200 mg/6 mL, GL Sciences) に 10 mL/min で通水した。固相抽出カートリッジを約 20 mL の超純水で洗浄、窒素気流による乾燥後、アセトン 8 mL で測定対象物質を溶出した。溶出液は乾固直前まで濃縮後、メタノールで 1 mL に定容し、シリンジフィルター (Millex®-LG, 細孔径: 0.2 μ m, 直径: 4 mm, Merck Millipore) でろ過し、表 2 に示した条件で、液体クロマトグラフタンデム型質量分析計 (liquid chromatograph-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS) にて分析した。

2.3.2 ブランク低減の検討

OPEs は樹脂の難燃剤や可塑剤等として幅広く使用されていることから、分析で使用する装置や器具類によるブランク汚染が懸念された (Liang *et al.*, 2015)。実際に、LC-MS/MS のシステム由来のブランクや分析で使用する固相抽出カートリッジのプラスチック容器や器具等に由来する操作ブランクが比較的大きくなり、測定値の信頼性低下の原因となった。そこで、これらブランクの低減化を検討した。

表 1 分析対象のリン酸エステル系難燃剤 (PFRs)。

化合物名	略称	化学式	沸点 (°C)	水溶解度 (mg/L-25°C)	LogKow	BCF
リン酸トリエチル triethyl phosphate	TEP	C ₆ H ₁₅ O ₄ P	216	5.0 × 10 ⁵	0.80	3.88
リン酸トリプロピル tripropyl phosphate	TPrP	C ₉ H ₂₁ O ₄ P	254	830	2.7	63.1
リン酸トリブチル tributyl phosphate	TBP	C ₁₂ H ₂₇ O ₄ P	289	280	4.0	1.03 × 10 ³
リン酸トリフェニル triphenyl phosphate	TPhP	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P	370	1.9	4.6	113
リン酸トリス(2-クロロエチル) tris(2-chloroethyl) phosphate	TCEP	C ₆ H ₁₂ Cl ₃ O ₄ P	351	7.0 × 10 ³	1.4	1.37
リン酸トリス(2-クロロイソプロピル) tris(2-chloroisopropyl) phosphate	TCPP	C ₉ H ₁₈ Cl ₃ O ₄ P	359	1.6 × 10 ³	2.6	8.51
リン酸トリス(1,3-ジクロロ-2-プロピル) tris(1,3-dichloro-2-propyl) phosphate	TDCPP	C ₉ H ₁₅ Cl ₆ O ₄ P	457	1.5	3.8	13.5
リン酸トリス(2-ブトキシエチル) tris(2-butoxyethyl) phosphate	TBOEP	C ₁₈ H ₃₀ O ₇ P	414	1.2 × 10 ³	3.7	1.08 × 10 ³

表2 LC-MS/MS 分析条件(PFRs).

LC 機種	AQUITY UPLC H-Class (Waters)
カラム	CORETECS™ UPLC C18+ (Waters) (2.1 mm×100 mm, 1.6 μm)
カラム温度	50℃
移動相	A: 1 mM 酢酸アンモニウム B: メタノール
	A: 70% B: 30% (0.5 min)
	A: 70→1% B: 30→99% (Liner gradient)
	A: 1% B: 99% (3.5 min) A: 70% B: 30% (4.5 min)
流量	0.18 mL/min
注入量	1 μL
MS 機種	Xevo-TQS (Waters)
イオン化モード	ESI (Positive)
キャピラリー電圧	0.8 kV
脱溶媒温度	500℃

3. 結果と考察

3.1 分析におけるブランク低減の検討

LC-MS/MS のシステムブランクについては、対象物質のピークにシステムブランクのピークが重なり、正しい定量が困難となった。そこで、LC の注入口とポンプの間に分析カラムと同系統のカラムを新たに接続し、「リテンションギャップ法」(滝埜ほか, 2017)を用いて分析することで、システム由来のブランクと対象物質のピークを分離させた。

操作ブランクについては、全体的に塩素を含有する TCEP や TCPP が高めに検出される傾向が見られた。操作ブランク低減のために、全体の前処理操作において、樹脂を材質とする使用器具を極力避け、特に、塩ビ製の保護具(手袋等)や器具の使用は避けるようにした。また、ガラス器具は、事前に 500℃、5 時間加熱または使用直前に溶媒洗浄、乾燥して使用した。抽出に使用する固相抽出カートリッジは、ルアー型プラスチック容器から、シリンジ型のガラス容器のカートリッジに変更し、容器からの対象物質の溶出を削減するとともに、樹脂配管を使用せずにコンセントレーターにて試料水を通水できるようにした。また、懸濁物質の比較的多い水質試料では、抽出前にろ紙によるろ過操作が必要となるが、石英繊維ろ紙(500℃加熱処理済)からのブランク値が大きく、特に、TCEP で顕著であった。そこで、シリンジ型の固相抽出カートリッジの充填剤の上部に、洗浄済の石英ウールを少量詰めて試料水のろ過と通水を同時に行うことで、ろ紙によるろ過操作を省略することとした。さらに、通水後の固相抽出カートリッジの乾燥のための遠心分離操作を省略して窒素ガスによる乾燥のみとし、窒素配管には活性炭等を設置して浄化する等、前処理操作における様々なブランク低減を検討したところ、各物質のブランク値は、全体として 1/5 程度以下に低減でき

た。なお、操作ブランク試験は一連の分析ごとに実施し、本分析法の検出下限値(method detection limit, MDL)を超える値が検出された場合は、測定値からブランク値を差し引くこととした。

以上のようなブランク低減の検討を行い、分析法を確立した後、環境省の「化学物質環境実態調査実施の手引き」(環境省, 2016)に従い、分析装置の検出下限値(instrument detection limit, IDL)や MDL を算出・確認したところ、対象物質全体の IDL は 0.11~0.69 ng/L, MDL は 0.20~7.2 ng/L となった。TCEP や TCPP は、比較的高頻度に操作ブランクが検出されたことから、MDL がやや高めとなる傾向が見られた。さらに、標準試料を超純水に添加して回収試験を実施したところ、添加回収率は 83%~100% となり、回収率 70%~120% の許容範囲内となった。

3.2 水質中リン酸エステル系難燃剤の濃度実態

5 都市(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県)の公共用水域(77 地点, n=245)水質における各 PFRs の濃度範囲を図 1 に示す。なお、分析対象の 8 物質のうち、TPrP は 5 都市の全ての地点で検出下限値未満(<0.20 ng/L)となったことから、図における表記は省略した(以下同様)。TPrP は、室内環境(斎藤ほか, 2008)や海外の表層水や排水での検出事例はあるが(Niu *et al.*, 2019; Pantelaki and Voutsas, 2019; Silva and Baltrusaitis, 2021), 水質の濃度範囲は低レベルであった。さらに、日本難燃剤協会の資料によると TPrP は世界市場において生産、流通実績がないとの報告もあることから(日本難燃剤協会, 2006), 難燃剤用途での TPrP 含有製品の使用・廃棄等による水環境汚染の可能性は低いことが示唆された。

8 種の PFRs の濃度範囲は <0.2~1,400 ng/L となり、全体的に含塩素の TCEP と TCPP, TBOEP の 3 種の濃度が比較的高く、1,000 ng/L を超える地点も見られた。一方で、TPhP は、多くの地点で 10 ng/L 以下となった。TPrP を除く 7 種の PFRs 濃度(中央値)は、高い順から TCPP(230 ng/L) > TBOEP (100 ng/L) > TCEP (86 ng/L) > TDCPP (32 ng/L) > TBP (15 ng/L) > TEP (14 ng/L) > TPhP (5.1 ng/L) となった。

環境省の全国を対象とした化学物質環境実態調査結果では、PFRs の濃度範囲は、TCEP < 50~1,200 ng/L (1993 年度), TDCPP < 100 ng/L (1999 年度), TBOEP < 500~2,800 ng/L (1993 年度), TBP < 7.9~94 ng/L (2008 年度), TPhP < 11~24 ng/L (2017 年度)であった(環境省, 2022b)。5 都市域における本調査のほか、第 II 型共同研究「LC-MS/MS による分析を通じた生活由来化学物質のリスク解明に関する研究」(2019-2021)の参画機関のご協力による 2019 年度の 10 都道府県の調査(加藤ほか, 2020)においても、多くの地点で PFRs 濃度が環境省の実態調査結果と同程度となり、概ね米国, 中国, ドイツ等の世界各地

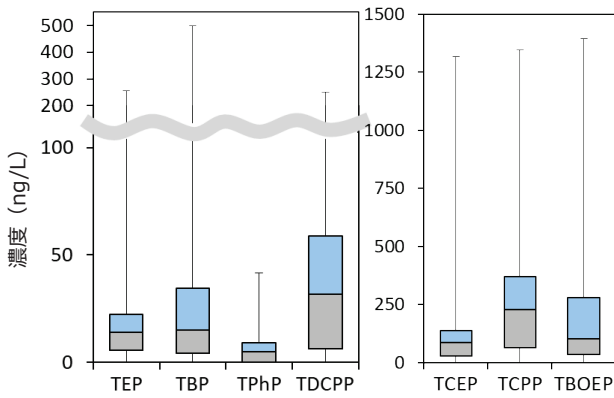


図1 5都市の公共用水域水質中におけるリン酸エステル系難燃剤の濃度。
(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県, 77地点, n=245, 2017年5月~2022年1月)

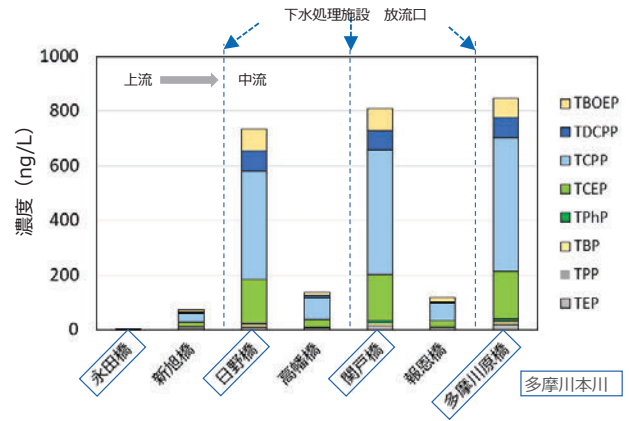


図2 東京都内多摩川水系水質中におけるリン酸エステル系難燃剤の濃度(例)。
(2020年8月, 午前・午後の平均値, □本川の地点)

の河川, 湖沼等の表層水の濃度の範囲内であった (Wang, R. *et al.*, 2015; Wang, X. *et al.*, 2020; Schmidt *et al.*, 2020; Chokwe *et al.*, 2020; Pantelaki and Voutsas, 2019)。さらに, 本調査の TCEP, TCPP, TBOEP 濃度が比較的高く, TPhP 濃度が低いという濃度傾向についても, 世界各地の多くの地点で同様な傾向が見られた。

東京都内の河川, 運河, 東京湾の合計 50 地点において, PFRs が高濃度となる地点は, 下水処理施設の放流口下流付近, 雨水等の排水口のある支川や流れが緩やかで化学物質が滞留しやすい運河等であった。

東京都内多摩川水系における PFRs の調査結果の例を図 2 に示す。多摩川本川の永田橋, 日野橋, 関戸橋, 多摩川原橋, 本川に流入する支川の新旭橋(谷地川), 高幡橋(浅川), 報恩橋(大栗川)の合計 7 地点を上流から中下流の順に示した。

多摩川上流の永田橋では, 全ての PFRs が検出下限値または定量下限値以下となり, 多摩川本川に流入する支川の調査地点の濃度はやや低く, 下水処理施設の放流口下流付近で下水処理水の影響を受けやすい多摩川本川の日野橋, 関戸橋, 多摩川原橋において, 濃度が高くなる傾向が見られた。多摩川は, 東京都の西部から南部へ流下して東京湾に注ぐ, 流域内人口約 380 万人の一級河川で, 上流の永田橋から下流の多摩川原橋までに 6 か所の下水処理施設が存在し, 多摩川原橋付近では河川水量の約 5 割を下水処理水が占めており, 中流域における下水処理水の混入割合が大きいという特徴を有するが, 本調査においても下水処理水の影響が顕著に現れた結果となった。著者らは, 上記 6 か所の下水処理施設排水の PFRs 調査も行っており(環境研究総合推進費 終了研究成果報告書, 2022), 特に, 塩素含有の PFRs は通常の活性汚泥等の処理による除去は困難で, 流入水, 放流水及び放流口下流の河川の濃度が同程度であったことから, 下水処理水は多摩川流域の主要な排出源の 1 つであることが明らかとなった。

水生生物に対するスクリーニング的な生態リスク評価として, 本調査における PFRs の最大値と予測無影響濃度(predicted no-effect concentration, PNEC)とを比較して, 化学物質の環境リスク初期評価ガイドライン(環境省, 2019b)に示された生態リスク判定を行った。なお, PNEC は, 環境省環境リスク初期評価書または ECHA(European Chemicals Agency)の登録データに記載の値を用いた。全ての地点で検出下限値未満の TPrP を除く PFRs の最大値/PNEC は, TEP は 0.0004(PNEC 632 $\mu\text{g/L}$), TBP は 0.02(PNEC 21 $\mu\text{g/L}$), TPhP は 0.01(PNEC 3 $\mu\text{g/L}$), TCEP は 0.01(PNEC 100 $\mu\text{g/L}$), TCPP は 0.002~0.003(PNEC 420~640 $\mu\text{g/L}$), TBOEP は 0.06(PNEC 24 $\mu\text{g/L}$)でいずれも 0.1 未満となり, 「現時点では作業は必要ないと考えられる」という生態リスク判定となった。一方, TDCPP については, 本調査の最大値は 250 ng/L で, PNEC(200 ng/L, アセスメント係数 10)(ECHA, 2022)を超える地点が 2 地点あり, PNEC の 1/10 以上となる検体が 5 割以上を占めたことから, 今後, 使用状況や排出実態等も含めて詳細な調査・評価が望まれる。

3.3 水質中リン酸エステル系難燃剤の検出傾向

本調査の PFRs の検出率(検出数/検体数)については, 高い順から, TEP 96%, TCPP 94%, TBOEP 94%, TDCPP 93%, TCEP 89%, TBP 88%, TPhP 72%, TPrP 0%となり, TPrP を除く 7 種の PFRs はいずれも 70%以上と高く, さらに TPhP を除く 6 種は 90%程度またはそれ以上の高頻度で検出された。

以上のことから, これらの PFRs が国内外で広範囲に使用され, 製品等の製造・使用・廃棄等により公共用水域に継続して排出されていることが示唆された。

各地点における TPrP を除く 7 種 PFRs の組成比(各 PFR/ Σ PFRs)を図 3 に示す。

組成比(中央値)は, 高い順から TCPP(42%) > TBOEP(24%) > TCEP(16%) > TDCPP(5.8%) > TBP(2.7%) > TEP(2.3%) > TPhP(0.80%)となった。

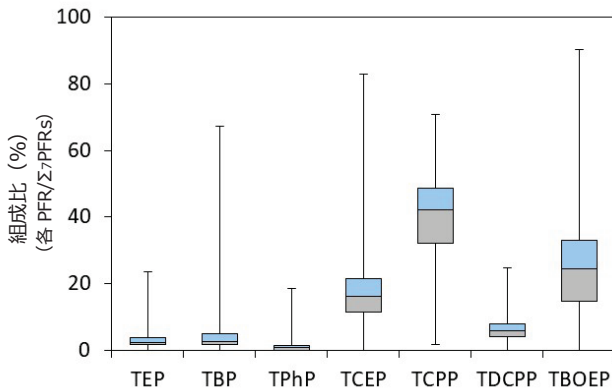


図3 5都市の公共用水域水質中におけるリン酸エステル系難燃剤の組成比。
(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県, 73地点, n=227, 2017年5月~2022年1月)

組成比は、地域や河川により異なる特徴を示す地点もあり、流量が比較的小さく、排出源による影響を比較的受けやすい支川の地点等でやや特異的な組成比となる傾向も見られたが、全体的に主要なPFRはTCPP, TCEP, TBOEPの3種であり、この3種で合計値の9割以上となる検体が8割以上を占めた。

TCPP, TCEP, TBOEPの3種は、いずれも水溶解度が1,000 mg/L(25℃)以上で水域への移動性も高く、塩素を含有するTCPPやTCEPは比較的分解性が低いとの報告もあり(石川ほか, 1985b)、水域中に残存し、広範囲に流下拡散しているものと推察された。一方で、TPhPは、水溶解度が1.9 mg/L(25℃)、物質の疎水性を表す指標とされるLog Kow(オクタノール/水分分配係数の常用対数値)が4.6と他のPFRsに比べて大きいことから、水域への移動性が低く、底質に残留しやすいといった各PFRsの物性の特徴が検出傾向に現れているものと推察された。

TCPPとTCEPは、いずれも塩化ビニル、ポリウレタンフォーム、ポリエステル、エポキシ樹脂用の難燃剤等として使用されるが(日本水環境学会, 1997)、TCPPはTCEPの主要な代替物質とされ、切り替えが進み、2000年におけるEUのTCPP消費量は約40,000tとの報告がある(ECHA, 2018)。さらに、TCEPについて、ビニル被覆電線やビニルシートから短時間で多量に溶出するとの報告(安原, 1996)や家庭雑排水から検出されたとの報告(石川ほか, 1985a)のほか、本調査の分析における操作プランクにおいてもTCPPとTCEPが高頻度で検出されたことから、含有製品の使用・廃棄に伴い、比較的容易かつ長期間にわたり継続して溶出し、水環境へ侵入していると推察された。

3.4 水質中リン酸エステル系難燃剤の日内・季節変動

5都市(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県)の公共用水域(21河川, 40地点, n=118)水質において、PFRs濃度を1日に午前と午後の2回調査

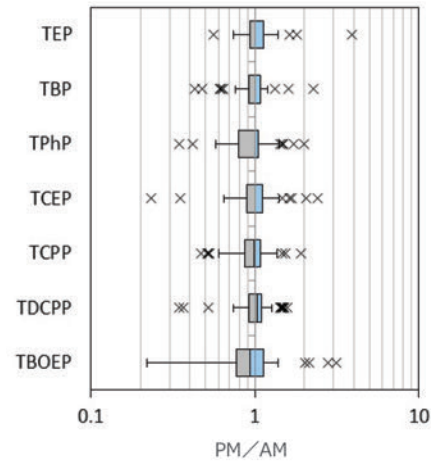


図4 5都市の公共用水域水質中におけるリン酸エステル系難燃剤の日内変動。
(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県, 40地点, n=118, 2018年2月~2020年8月)

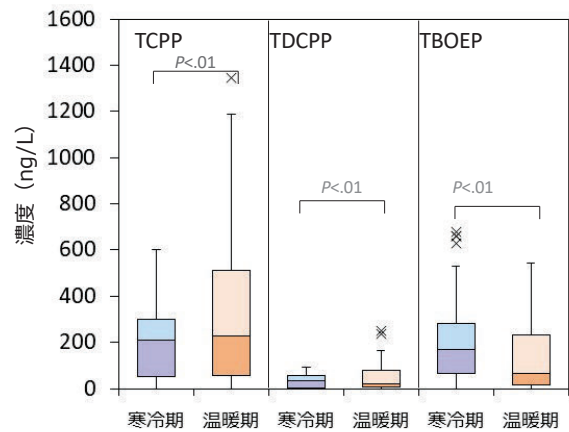


図5 公共用水域水質中における寒冷期と温暖期のリン酸エステル系難燃剤の濃度。
(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 27地点, n=47, 2018年2月~2020年8月)

して、日内変動を確認した結果を図4に示す。

各地点の午後/午前を算出したところ、全ての地点で検出下限値未満であったTPPrを除き、7種のPFRsは多くの地点で±25%の範囲内となり、外れ値を考慮しても1/5~4倍の範囲で、1日の午前と午後で桁が変わる程の著しい濃度変動はないことが確認できた。また、本川に比べて流量が少なく、降水量や排出源の影響を比較的受けやすいと考えられる支川やPFRsが高濃度となり、特定の排出源の影響が推察されるような地点で、比較的日内変動が大きくなる傾向が示されたが、全体としては午前と午後の濃度は概ね同程度となり、広範な地域において、PFRsが下水処理施設等の排出源から定常的に排出されていることが示唆された。

さらに、4都市(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県)の公共用水域(15河川, 27地点)水質において、PFRs濃度を1年に寒冷期と温暖期の2回調査して、季節変動を確認した結果を図5に示す。

TCPP, TDCPPとTBOEPの3種については、t検

定の結果、寒冷期と温暖期の濃度間に、有意な差が見られた(TCPP(平均値 寒冷期 200 ng/L, 温暖期 340 ng/L, $t(46)=4.41$, $p<.01$, $d=.53$), TDCPP(平均値 寒冷期 33 ng/L, 温暖期 54 ng/L, $t(46)=3.54$, $p<.01$, $d=.44$), TBOEP(平均値 寒冷期 210 ng/L, 温暖期 130 ng/L, $t(46)=3.72$, $p<.01$, $d=.51$))。

TBOEPは、樹脂やゴムの可塑剤としての需要が多く、特に合成ゴム用耐寒用可塑剤や床仕上げ剤・ワックスにも用いられている。TBOEPの寒冷期に比べて温暖期の濃度が低くなる傾向については、TBOEPは生分解性が比較的高いと報告があり(川村・小山, 2019), 温暖期に分解が促進されたことが要因の1つであると考えられた。しかし、季節変動の要因を明らかにするためには、同地点でのサンプリング頻度・データ数を増やし、各PFRsの使用状況や排出実態も含めて、詳細な調査が必要になると考えられた。

4. おわりに

本調査にて、比較的高濃度・高頻度で検出されたTCEP, TCPPやPNECを超える濃度で検出されたTDCPPの3種の塩素含有PFRsは、子ども用製品やマットレス等の寝具、布張り家具等の難燃剤としても使用されており、子どもに対する発がん性や生殖毒性リスクが懸念され(ECHA, 2018), 使用制限規制や企業の自主規制等により、新たな製品の使用削減が進むと考えられるが、既存の含有製品の使用・廃棄によるPFRsの排出は、今後も長期間にわたり継続していくものと推察される。PFRsは水生生物の生殖毒性等も懸念されているが、今後は代謝物も含めた曝露・毒性情報の充実化が望まれる(Hou *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2020; Liu, Y. *et al.*, 2021)。

現在、国内外の水環境において、PPCPs等の様々な生活由来化学物質が広範囲・高頻度で検出されているが、医薬品や難燃剤のように、環境への影響が懸念され、削減が求められる物質の中には、私たちの安全・安心な生活に欠かせない機能を有し、同等の機能を有する適切な代替物質の選定が困難となる物質も多く存在すると考えられる。今後は、製品の重要な機能や経済性等も考慮した「リスクトレードオフ」評価等が重要となり(北野, 2016; 独立行政法人産業技術総合研究所, 2014), そのための解析手法の活用・普及が望まれる。

本稿では、複数の地方環境研究所との共同研究等によって実施したPFRsの5都市(東京都, 名古屋市, 大阪市, 兵庫県, 福岡県)における公共用水域水質の実態調査の概要を紹介した。本調査の分析法を開発した国立環境研究所と複数の地方環境研究所との第II型共同研究等のように、地方環境研究所のネットワークを活かした調査研究が今後も進展していくことを期待している。

謝 辞

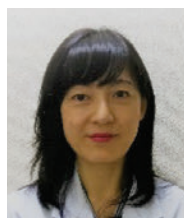
本研究の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20165002, 20195054)及び国立環境研究所第II型共同研究「高リスクが懸念される微量化学物質の実態解明に関する研究」(2016-2018)によって実施した。本調査研究にご協力いただいた関係者の皆様に謝意を表します。

引用文献

- Andersson, O. and Blomkvist, G. (1981) Polybrominated aromatic pollutants found in fish in Sweden. *Chemosphere*, 10, 1051-1060. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(81\)90216-2](https://doi.org/10.1016/0045-6535(81)90216-2)
- Chokwe, T. B., Abafe, O. A., Mbelu, S. P. and Okonkwo, J. O. (2020) A review of sources, fate, levels, toxicity, exposure and transformations of organophosphorus flame-retardants and plasticizers in the environment. *Emerging Contaminants*, 6, 345e366. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.08.004>
- de Wit, C. A. (2002) An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*, 46, 583-624. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(01\)00225-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(01)00225-9)
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 (2014) リスクトレードオフ評価書 プラスチック添加剤：難燃剤(要約版). https://riss.aist.go.jp/wp-content/uploads/2021/08/RiskTradeoffAssessment_summary_FlameRetardant_ja.pdf(2022年8月1日確認)
- Dumler, R., Thoma, H., Lenoir, D. and Hutzinger, O. (1989a) Thermal formation of polybrominated dibenzodioxins (PBDD) and dibenzofurans (PBDF) from bromine containing flame retardants. *Chemosphere*, 19, 19305-19308. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(89\)90328-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(89)90328-7)
- Dumler, R., Lenoir, H.T.D. and Hutzinger, O. (1989b) PBDF and PBDD from the combustion of bromine containing flame retarded polymers. *Chemosphere*, 19, 2023-2031. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(89\)90025-8](https://doi.org/10.1016/0045-6535(89)90025-8)
- European Chemical Agency (ECHA) (2018) Screening Report: An Assessment of Whether the Use of TCEP, TCPP, and TDCP in Articles Should be Restricted. https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/screening_report_tcep_tcpp_td-cp_en.pdf/e0960aa7-f703-499c-24ff-fba627060698.(2022年8月1日確認)
- ECHA (2022) Information on Registered Substances: Ecotoxicological Summary, Tris[2-chloro-1-(chloromethyl)ethyl] phosphate. <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/>

- 14365/6/1(2022年8月1日確認)
- European Chemicals Bureau (2002) European Union Risk Assessment Report bis(pentabromophenyl) ether. <https://echa.europa.eu/documents/10162/da9bc4c4-8e5b-4562-964c-5b4cf59d2432>(2022年8月1日確認)
- Hou, R., Liu, C., Gao, X., Xu, Y., Zha, J. and Wang, Z. (2017) Accumulation and distribution of organophosphate flame retardants (PFRs) and their di-alkyl phosphates (DAPs) metabolites in different freshwater fish from locations around Beijing, China. *Environmental Pollution*, 229, 548–556. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.097>
- Ireland (lead) and United Kingdom (2008) Tris (2-CHLORO-1-METHYLETHYL) Phosphate (TCPP) Summary Risk Assessment Report. <https://echa.europa.eu/documents/10162/8a6e5c7c-15d6-4e80-b083-0cca700c32d3>(2022年8月1日確認)
- 石川精一・重住研一・安田和彦・重森伸康(1985a)工場排水および生活排水中の有機リン酸エステル類の定量. 水質汚濁研究, 8, 529–535. <https://doi.org/10.2965/jswe1978.8.529>
- 石川精一・重住研一・安田和彦・重森伸康(1985b)有機リン酸エステル類の各種水処理過程における挙動. 水質汚濁研究, 8, 799–807. <https://doi.org/10.2965/jswe1978.8.799>
- Jansson, B., Asplund, L. and Olsson, M. (1987) Brominated flame retardants -ubiquitous environmental pollutants?. *Chemosphere*, 16, 2343–2349. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(87\)90291-8](https://doi.org/10.1016/0045-6535(87)90291-8)
- 加藤みか・西野貴裕・下間志正(2018)東京都内水域における有機リン系難燃剤等の実態調査. 東京都環境科学研究所年報 2018, 66–67. <https://www.tokyokankyo.jp/kankyoken/wp-content/uploads/sites/3/2018/10/4-8.pdf>(2022年8月1日確認)
- 加藤みか・西野貴裕・長谷川 瞳・東條俊樹・松村千里・羽賀雄紀(2020)国内水環境における製品由来化学物質の実態調査. 第23回日本水環境学会シンポジウム講演集, 225.
- 環境省(2019a)環境研究総合推進費 終了研究成果報告書, 多種・新規化学物質の網羅的モニタリングと地域ネットワークを活用した統合的評価・管理手法の開発(5-1602)(研究代表者 西野貴裕). https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_r01/5-1602_2.pdf(2022年8月1日確認)
- 環境省(2022a)環境研究総合推進費 終了研究成果報告書, 国内における生活由来化学物質による環境リスク解明と処理技術の開発(5-1954)(研究代表者 西野貴裕).
- 環境省 環境管理局 総務課ダイオキシン対策室(2003)平成14年度臭素系ダイオキシン類排出実態等調査結果報告書. <https://www.env.go.jp/air/report/h15-06/all.pdf>(2022年8月1日確認)
- 環境省 総合環境政策局 環境保健部環境安全課(2016)化学物質環境実態調査実施の手引き(平成27年度版).
- 環境省 環境保健部 環境安全課(2022b)2021年度版化学物質と環境.
- 環境省 環境保健部 環境リスク評価室(2019b)化学物質の環境リスク初期評価ガイドライン(令和元年11月版). <https://www.env.go.jp/content/900411522.pdf>(2022年8月1日確認)
- 川村恭平・小山幸男(2019)物理化学的処理によるリン酸エステル系難燃剤の除去. 福井県衛生環境研究センター年報, 18, 43–48.
- 北野 大(2016)難燃学入門. 化学工業日報社, 東京.
- Li, Y., Yao, C., Zheng, Q., Yang, W., Niu, X., Zhang, Y. and Lu, G. (2020) Occurrence and ecological implications of organophosphate triesters and diester degradation products in wastewater, river water, and tap water. *Environmental Pollution*, 259, 113810. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113810>
- Liang, K., Niu, Y., Yin, Y. and Liu, J. (2015) Evaluating the blank contamination and recovery of sample pretreatment procedures for analyzing organophosphorus flame retardants in waters. *Journal of Environmental Sciences*, 34, 2015, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.022>
- Liu, D., Yan, Z., Liao, W., Bai, Y. and Feng, C. (2020) The toxicity effects and mechanisms of tris (1,3-dichloro-2-propyl) phosphate (TDCPP) and its ecological risk assessment for the protection of freshwater organisms. *Environmental Pollution*, 264, 114788. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114788>
- Liu, Y., Gong, S., Ye, L., Li, J., Liu, C., Chen, D., Fang, M., Letcher, R. J. and Su, G. (2021) Organophosphate (OP) diesters and a review of sources, chemical properties, environmental occurrence, adverse effects, and future directions. *Environment International*, 155, 106691. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106691>
- 松神秀徳・戸館侑孝・Brandsma, S. H., Leonards P. E. G., 滝上英孝(2014)リン酸エステル系難燃剤の定量分析法の開発と国際相互検定研究による検証. 環境化学, 24, 41–49. <https://doi.org/10.5985/jec.24.41>
- Matthews, H. B., Eustis, S. L. and Haseman, J. (1993) Toxicity and carcinogenicity of chronic exposure to Tris(2-chloroethyl) phosphate. *Fundamental and Applied Toxicology*, 20, 477–485. <https://doi.org/10.1006/faat.1993.1058>
- Meironyté, D., Norén, K. and Bergman, A. (1999) Analysis of polybrominated diphenyl ethers in Swedish human milk. A time-related trend study,

- 1972-1997. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 58, 329-341. <https://doi.org/10.1080/009841099157197>
- 日本水環境学会(1997)平成8年度環境庁委託業務結果報告書. 水質管理計画調査: 未規制物質情報収集調査(平成9年3月).
- 日本難燃剤協会(2006)リン酸エステル類難燃剤・可塑剤のヒト健康リスク評価に関する報告書(平成18年3月6日). <https://www.frcj.jp/docs/pdf/rin/008.pdf>
- Niu, Z., Zhang, Z., Li, J., He, J. and Zhang, Y. (2019) Threats of organophosphate esters (OPEs) in surface water to ecological system in Haihe River of China based on species sensitivity distribution model and assessment factor model. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 10854-10866. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04461-2>
- Noren, K. and Meironyte, D. (2000) Certain organochlorine and organobromine contaminants in Swedish human milk in perspective of past 20-30 years. *Chemosphere*, 40, 1111-1123. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00360-4](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00360-4)
- Pantelaki, I. and Voutsas, D. (2019) Organophosphate flame retardants (OPFRs): A review on analytical methods and occurrence in wastewater and aquatic environment. *Science of the Total Environment*, 649, 247-263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.286>
- Rahman, F., Langford, KH., Scrimshaw, MD. and Lester, JN. (2001) Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants. *The Science of the Total Environment*, 275, 1-17. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00852-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00852-X)
- 斎藤育江・大貫文・上原眞一・瀬戸博・上村尚(2004)家庭電化製品・OA機器から発生するフタル酸エステル類及びリン酸エステル類. 東京都健康安全研究センター研究年報, 55, 2004, 247-252. <https://www.tmiph.metro.tokyo.lg.jp/files/archive/issue/kenkyunenpo/nenpou55/55-42.pdf>(2022年8月1日確認)
- 斎藤育江・大貫文・矢口久美子・小縣昭夫(2008)可塑剤・難燃剤等による室内空気汚染の実態とその曝露量評価. 東京都健康安全研究センター研究年報, 59, 27-38. <https://www.tmiph.metro.tokyo.lg.jp/files/archive/issue/kenkyunenpo/nenpo59/01-02.pdf>(2022年8月1日確認)
- Schmidt, N., Castro-Jimenez, J., Fauvelle, V., Ourgaud, M. and Sempere, R. (2020) Occurrence of organic plastic additives in surface waters of the Rhône River (France). *Environmental Pollution*, 257, 113637. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113637>
- Silva, M. and Baltrusaitis, I. (2021) Destruction of emerging organophosphate contaminants in wastewater using the heterogeneous iron-based photo-Fenton-like process. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2, 100012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hazl.2020.100012>
- Takigami, H., Suzuki, G., Hirai, Y., Ishikawa, Y., Sunami, M. and Sakai, S. (2009) Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan. *Environment International*, 35, 688-693. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.12.007>
- 滝埜昌彦・高沢麻里・鈴木茂滝埜(2017)直接注入-LC-MS/MS法を用いた環境中リン酸エステル系難燃剤の分析. 第26回環境化学討論会講演要旨集, P-028.
- van der Veen, I. and de Boer, J. (2012) Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 88, 1119-1153. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.067>
- Wang, R., Tang, J., Xie, Z., Mi, W., Chen, Y., Wolschke, H., Tian, C., Pan, X., Luo, Y. and Ebinghaus, R. (2015) Occurrence and spatial distribution of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in 40 rivers draining into the Bohai Sea, north China. *Environmental Pollution*, 198, 172-178. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.037>
- Wang, X., Zhu, Q., Yan, X., Wang, Y., Liao, C. and Jiang, G. (2020) A review of organophosphate flame retardants and plasticizers in the environment: Analysis, occurrence and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 731, 139071. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139071>
- 安原昭夫(1996)廃プラスチック類に含まれるリン酸トリリス(2-クロロエチル)の水への溶出. 環境化学, 6, 43. <https://doi.org/10.5985/jec.6.43>



加藤 みか/Mika KATO

横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。東京都環境科学研究所環境リスク研究科にて、化学物質の分析・調査・管理手法に関する研究や環境教育に取り組んでいる。



西野 貴裕/Takahiro NISHINO

1996年、上智大学理工学部化学科卒業。1998年に東京都水道局に入局。2003年、東京都環境科学研究所へ異動。主に東京都内の環境中における微量化学物質の実態調査、リスク評価に従事している。



宮沢 佳隆/Yoshitaka MIYAZAWA

大気、自動車、廃棄物の規制指導に従事。現在は環境水、排水の水質分析業務。



飯田 有香/Yuka IIDA

東京医薬専門学校卒業。2019年派遣社員として東京環境科学研究所に勤める。環境リスク研究科化学物質チームで研究作業を行う。



東條 俊樹/Toshiaki TOJO

愛媛大学大学院連合農学研究科博士課程修了後、2000年から大阪市立環境科学研究所(現：大阪市立環境科学センター)に在籍。1997年からダイオキシン類、2008年から有機フッ素化合物の分析法の検討や環境動態など、主に大気環境をフィールドとした都市域の微量有害化学物質に関する調査研究に取り組んでいる。



浅川 大地/Daichi ASAKAWA

環境中の有機化合物の機能や動態の解明に向けて、分析化学的アプローチで研究を進めてきた。環境情報の網羅的データ化とその表現・解析手法の開発にも取り組みつつある。



市原 真紀子/Makiko ICHIHARA

神戸大学大学院総合人間科学研究科修了。大阪市立環境科学センターにて、水環境中における微量化学物質の調査研究に従事している。



大方 正倫/Masanori OOKATA

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻博士後期課程修了。2018年から大阪市立環境科学センターに在籍。学生時代に環境残留医薬品の研究を始め、下水試料を対象とした分析法検討や下水処理場における挙動把握に取り組む。現在も、主に水環境をフィールドとした都市域の微量有害化学物質に関する調査研究を行っている。



松村 千里/Chisato MATSUMURA

有害化学物質に関する調査研究に従事。ダイオキシン類等 POPs の分析法検討、環境中実態解明について研究。趣味はテニス。



羽賀 雄紀/Yuki HAGA

大阪大学基礎工学部化学応用科学科卒、神戸大学大学院医学系研究科医科学専攻修了。兵庫県環境研究センターで10年、兵庫県庁で4年勤務。専門分野は生物反応工学・生化学・環境化学・分析法開発等。趣味は剣道やランニング。



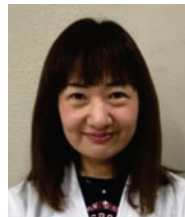
吉識 亮介/Ryosuke YOSHIKI

大阪大学工学部応用自然科学科卒業。2007年、兵庫県に入庁。2015年から4年間、兵庫県環境研究センターで勤務。主に環境分析業務、分析法開発等に従事した。



梶 拓也/Takuya KAKOI

2012年、愛媛大学農学研究科修了。民間企業への就職を経て2016年兵庫県に入庁。2019年に兵庫県環境研究センターへ異動。主に環境分析業務に従事している。



長谷川 瞳/Hitomi HASEGAWA

2003年、名古屋大学大学院工学研究科修了。2005年、名古屋市環境科学研究所(現・名古屋市環境科学調査センター)へ入庁。主に環境中微量化学物質の分析法開発、実態調査等に従事。



宮脇 崇/Takashi MIYAWAKI

事故や災害等の緊急時環境調査に取り組んできた。有機化学物質や金属類等の網羅分析をはじめ、環境動態やリスク評価に関する研究も行っている。好きな戦国武将は立花宗茂。



高橋 浩司/Koji TAKAHASHI

九州大学大学院工学研究科博士後期課程修了。福岡県保健環境研究所において、廃棄物、食品、危険ドラッグ、ダイオキシン類、気候変動など、様々な分野で試験検査、調査研究に従事。



片宗 千春/Chiharu KATAMUNE

福岡県保健環境研究所に在籍。2019年度までダイオキシン類や生活関連化学物質等の分析・調査に従事していた。現在は食中毒や感染症等に係る病原微生物の調査・研究に取り組んでいる。



高澤 嘉一/Yoshikatsu TAKAZAWA

残留性有機汚染物質及びその候補物質を適切に監視するための手法開発と将来的な振り返りや対策効果の検証を可能とする環境スペシメンバンキングに取り組む。