

平成21～23年度

環境研究総合推進費補助金研究事業

総合研究報告書

廃棄物リサイクル制度展開の国際比較と化学物質管理の統合
システム解析

(K2129, K22048, K2314)

平成24年3月

京都大学 酒井伸一、平井康宏、浅利美鈴、高野裕久

国立環境研究所 小池英子、滝上英孝

愛媛大学 田辺信介

日本環境安全事業(株) 由田秀人

京都市環境政策局 坪内俊明、前田禎司郎

平成21～23年度環境研究総合推進費補助金研究事業

総合研究報告書

廃棄物リサイクル制度展開の国際比較と化学物質管理の統合システム解析 (K2129, K22048, K2314)

目次

1. 環境研究総合推進費補助金研究事業 総合研究報告書概要版・・・・・・・・・・ 1
2. 室内環境における家庭系有害化学物質・有機臭素系難燃剤の動態と毒性及びその制御
・・ 11
分担研究者 滝上英孝、鈴木 剛 (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
3. 室内環境の残留性化学物質に関する影響スクリーニング・・・・・・・・・・ 34
分担研究者 高野裕久 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
小池英子 (独) 国立環境研究所 環境健康研究センター
4. アジア諸国を発生源とする局所的・広域的な微量元素汚染の実態解明・・・・・・・・ 58
分担研究者 田辺信介、板井啓明、宝来佐和子、高橋真 愛媛大学沿岸環境科学研究センター
5. 廃棄物リサイクル制度展開の国際比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
分担研究者 由田秀人 日本環境安全事業(株)
平井康宏、浅利美鈴、酒井伸一 京都大学環境科学センター
6. 家庭系有害廃棄物の保有・廃棄動態と回収試行、およびそのフィージビリティ・ 113
分担研究者 酒井伸一、浅利美鈴 京都大学環境科学センター
坪内俊明、堀寛明、濱口弘行、三浦貴弘 京都市環境政策局
7. 研究発表等・・ 145

第1章 環境研究総合推進費補助金研究事業 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号＝廃棄物リサイクル制度展開の国際比較と化学物質管理の統合システム解析（K2129、K22048、K2314）

国庫補助金精算所要額（円）＝110,001,000

研究期間（西暦）＝2009-2011

研究年度（西暦）＝2009-2011

代表研究者名＝酒井伸一（京都大学 環境科学センター）

共同研究者名＝田辺信介（愛媛大学）、滝上英孝、小池英子（国立環境研究所）
由田秀人（日本環境安全事業）、坪内俊明（京都市環境局）
高野裕久、平井康宏、浅利美鈴（京都大学）

研究目的＝家庭系有害廃棄物は、難燃剤成分を含む電気機器や繊維製品のほか、揮発性や残留性有機汚染物質、重金属類やレアメタルに関連する機器に由来し、ヒトや環境への影響が懸念される。そこで、室内ダストと循環廃棄関連ダストを主たる研究対象として取り上げ、物理化学特性の把握から、移動動態、曝露影響に関する検討を行う。また生物関連試料を用いた金属類の時空間分布に関する解析と社会システムにおける物質フロー解析を行う。そして、3Rや廃棄物管理、化学物質管理に関する国際的な制度比較研究を進め、家庭系有害廃棄物の適正で効果的なリサイクル、廃棄管理のための類型化、社会循環システムの設計、回収拠点モデルの検討を進めることとする。

研究方法＝有害化学物質のシンクとなる可能性があり、曝露源である室内ダストと廃棄リサイクル関連施設のダストの化学／毒性学的キャラクタリゼーション、廃棄物由来の汚染実態と歴史トレンドについて比較考察を行う。その結果をベースに、重点をおくべき物質と対象廃棄物の同定を行い、制御対象として留意すべき毒性エンドポイントに資するインビトロ系のアッセイ適用を図る。生物濃縮により海洋生態系の頂点に位置する海棲哺乳類を指標生物とし、生体中の微量元素を分析して汚染実態の解明と歴史トレンドの解析を試みる。

家庭系有害廃棄物の社会循環システム設計と分別試行に向けて、3Rと廃棄物管理に関する国際的な制度比較研究を行う。欧米とアジアの廃棄物リサイクル制度全般の比較データ収集と特記すべきポイントを抽出するために、本分野での政策立案経験者や有識者を招聘したワークショップを開催する。また、幅広い有害・危険物等を対象に、移動式資源回収をモデル試行し、住民の方に呼びかけた上で回収及び参加者へのアンケートを実施した。

結果と考察＝

- 1) 室内環境における家庭系有害化学物質・有機臭素系難燃剤の動態と毒性及びその制御
(滝上英孝、鈴木 剛)

有害化学物質のシンクとなる可能性があり、曝露源である室内ダストと廃棄リサイクル関連施

設のダストの化学／毒性学的キャラクターゼーション、廃棄物由来の汚染実態について比較考察を行う。一般家庭や大学、防災機能が強化されている施設（ビジネスホテルなど）から採取したダストを対象に、臭素を指標として BFRs の存在する成分の同定を、微小部蛍光 X 線分析を用いて試みた。臭素濃度が既知の製品を測定した。臭素濃度を強度から推定すると、家電量販店ダストの臭素含有成分の臭素濃度は、1%程度含有する防災カーテンより高濃度であった。また、保育園ダストでは 0.1%程度含有する PC 筐体と同程度以上であるといえる。本分析条件では 0.1%程度の臭素含有成分を識別することが可能であり、これらの結果は BFRs 等の臭素化合物を高濃度に含む製品が微細化してダストに偏在する可能性を示している。

DR-CALUX アッセイ／化学分画／化学分析統合手法によって室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物の同定検索を行い、重要な活性寄与が推定される化学物質について高分解能 GC-MS による定量分析を行い、定量値に比活性を乗じて寄与率を求めた。その結果、DR-CALUX アッセイで測定したダイオキシン様活性値の 40%程度は測定対象としたダイオキシン類縁化合物 (PCDDs、PCDFs、Co-PCBs、PCNs、PBDDs 及び PBDFs) に由来することが示された (図 1)。対象とした室内ダスト中の寄与率(中央値ベース)は PBDFs: 17%、PCDDs: 14%、PCDFs: 8.8%、non-ortho Co-PCBs: 0.98%、PCNs: 0.10%及び mono-ortho Co-PCBs: 0.019%であり、PBDFs の寄与が最も高かった。現状では規制対象となっていない PBDFs が、室内ダスト中で最も重要なダイオキシン類縁化合物であることが示唆された。

3次元培養系の皮膚モデルをハウスダスト試料(粒径別試料)に適用し、細胞に対する毒性ポテンシャル(細胞毒性)、炎症性メディエーター等の放出量について調べた。MTT法による細胞毒性はほとんどのハウスダスト分級試料で観察された。特に < 53 μm の最も細かい分級試料 (n = 5) では 54-75% (陰性対照比) の細胞生存率であり、粒径別試料の中では最も強い毒性を示した。炎症性サイトカイン放出量は、IL-1α が陰性対照比で有意に高く、細胞毒性と同様に、< 53 μm の分級試料で高くなる傾向を示した。ハウスダストによる感作作用(アレルギー免疫毒性)は、皮膚の末梢組織のみならず、他の臓器も関与した慢性的な曝露の結果、発現するものと考えられるため、そのことを踏まえ、今後、in vitro の皮膚接触毒性試験の最適化を図る必要がある。

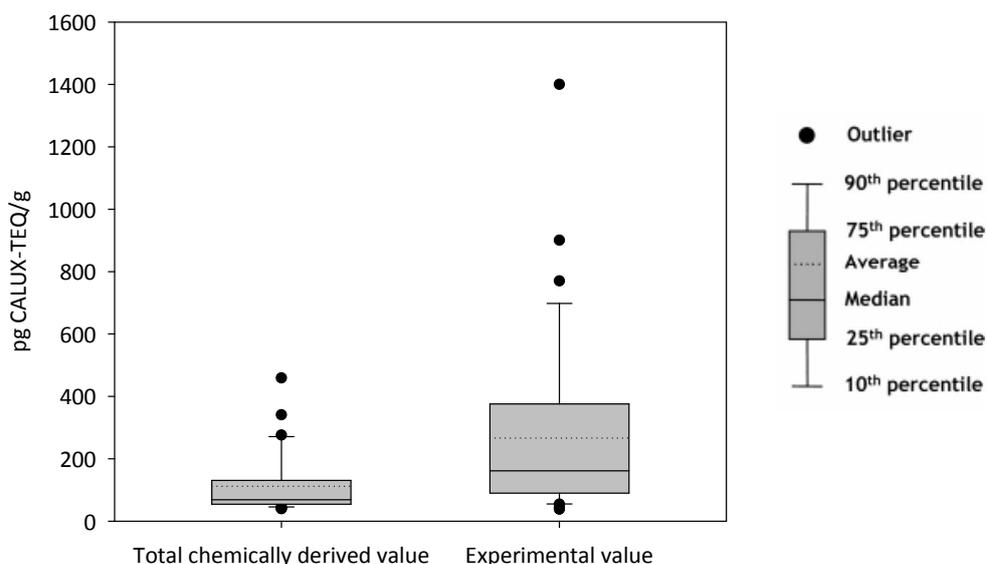


図 1 室内ダスト (n=33) の化学分析値 (PCDD、PCDF、Co-PCB、PCN 及び PBDF) 由来のダイオキシン様活性値 (Chemically derived CALUX-TEQ) 及び DR-CALUX アッセイで測定したダイオキシン様活性値 (Experimental CALUX-TEQ)

有害化学物質のシンクとなる可能性があり、曝露源である室内ダストを中心に化学／毒性学的キャラクターゼーションを行った。残留性有機汚染物質である BFRs のダスト中の分布存在形態と製品からの移行経路の解明、BFRs と関連の深い臭素化ダイオキシン類等の関与する室内ダスト中のダイオキシン様活性のハザード評価、種々の化学物質を含むダストの感作性を評価するための 3 次元培養系の皮膚モデルの適用と基礎知見の獲得の 3 点を試みて、ダスト経由の有害化学物質の移動・曝露モデルに資する一定成果を得ることができた。

2) 室内環境の残留性化学物質に関する影響スクリーニング (高野裕久、小池英子)

家庭系有害廃棄物管理方策検討にあたっては、それらに由来する化学物質等の生体・健康影響の評価が必須である。これらの化学物質には経気道あるいは経皮的な直接的曝露が存在し、呼吸器・免疫系への影響が懸念される。本研究課題では、家庭系有害廃棄物に含まれる臭素系難燃剤 (BFRs) が呼吸器系、免疫系に与える影響を評価することを目的とした。特に、気道上皮細胞、複数の免疫担当細胞より構成される脾細胞、主要な抗原提示細胞である樹状細胞に及ぼす影響と影響機構に注目し、評価・解析を加えた。

被検物質は、代表的な BFRs であるポリブロモジフェニルエーテル (PBDEs) 製剤 3 種類 (DE-71 [Pentabromodiphenyl oxide], DE-79 [Octabromodiphenyl oxide], DE-83R [Dcambromodiphenyl oxide]) と、ヘキサブロモシクロドデカン (HBCD) 製剤 [1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecan]、テトラブロモビスフェノール A 製剤 (TBBPA [4,4'-(1-methylethylidene)bis(2,6-dibromophenol)]) の 5 物質とし、曝露最高濃度は、難溶解性の DE-83R は $6 \mu\text{g/ml}$ 、その他は $10 \mu\text{g/ml}$ とした。気道上皮は、正常ヒト気道上皮細胞株 BEAS-2B を用い、BFRs ($0.01\text{--}10 \mu\text{g/ml}$) またはコントロール (0.1% DMSO) に 24 時間曝露した後、細胞生存・増殖能や、炎症性サイトカイン (IL-8, IL-6 等) と可溶性 ICAM-1 (sICAM-1)、上皮成長因子 (EGF) の産生、ICAM-1 の発現を測定した。免疫担当細胞は、アトピー素因を有する NC/Nga マウスより脾細胞と骨髄由来樹状細胞 (BMDC) を調製し、BFRs ($0.001\text{--}10 \mu\text{g/ml}$) またはコントロールに曝露した。24 時間後、脾細胞の細胞増殖・生存能と細胞表面分子の発現、培養上清中サイトカインを測定した。ダニ抗原存在下で BFRs に 72 時間曝露後、細胞増殖を測定した。BMDC は、24 時間曝露後、細胞増殖・生存能と細胞表面分子の発現を測定した。一方、BFRs ($0.01\text{--}1 \mu\text{g/ml}$) 存在下で BMDC を分化・誘導し、分化・成熟に及ぼす影響も検討した。なお、細胞増殖・生存能は WST-1 法、細胞表面分子の発現はフローサイトメトリー、液性因子の産生は ELISA 法、ダニ抗原刺激による細胞増殖は BrdU の取り込み量を ELISA 法により測定した。

高濃度の HBCD と TBBPA は気道上皮細胞の生存率を低下させ、DE-71 は増殖を促進する傾向が観察され、HBCD と TBBPA は気道上皮細胞に対して毒性を示す可能性があるが、PBDEs の毒性は乏しいものと考えられた。また、DE-71 と DE-79、HBCD は、気道上皮細胞の IL-6 (図 2) および IL-8 の産生を増加した。TBBPA は、IL-6 産生を増加し、IL-8 産生を抑制した。いずれの BFRs も、sICAM-1 産生は増加または増加傾向を示した。DE-71 と DE-83R、HBCD、TBBPA は、EGF 産生も増加した。以上より、ある種の BFRs は、気道上皮細胞の毒性や炎症に関わる因子の発現修飾とともに、EGF 産生を増加することによっても気道上皮細胞に影響を及ぼすことが示された。また、気道上皮細胞の IL-6、IL-8、sICAM-1、EGF の産生は、影響評価におけるバイオマーカー候補として有力であることも示された。

脾細胞については、高濃度の HBCD は生存率を低下させたが、他の BFRs の毒性は弱かった。いずれの BFRs も、脾細胞中の抗原提示細胞活性化マーカーである CD86 の陽性率と、アレルギー反応に関わる Th2 サイトカイン : IL-4 の産生 (図 3) を増加した。Th1 サイトカイン : IFN-

γの産生は検出限界以下であった。いずれのBFRsも、ダニ抗原刺激脾細胞増殖を高濃度で抑制し、低濃度で促進する傾向を示した。BMDCについては、いずれのBFRsも毒性を示さず、DE-71とDE-79は増殖促進傾向がみられた。BMDC活性化マーカーであるDEC205の陽性率や抗原提示に関わるMHC class II、CD80、CD86の発現強度を増強する傾向も観察された。分化・成熟に及ぼす影響については、BFRsはBMDCに対し、毒性を示さず、HBCDには増殖促進傾向がみられた。DE-71とDE-79、DE-83Rは、MHC class IIやCD86の発現強度を増強した。DE83R、HBCDは、DEC205の発現強度を増強し、HBCDはMHC class IIやCD86、CD80、CD11cDEC205の陽性率を増加させた。BFRsは、BMDCの所属リンパ節への遊走に重要なケモカインレセプターのCXCR4の陽性率も上昇させた。以上より、BFRsが免疫担当細胞に与える影響は、作用強度として強いものではないとは考えられるが、免疫・アレルギー反応にかかわる抗原提示細胞の活性化や分化・成熟、脾細胞のIL-4産生を修飾する作用を持つことが明らかになった。

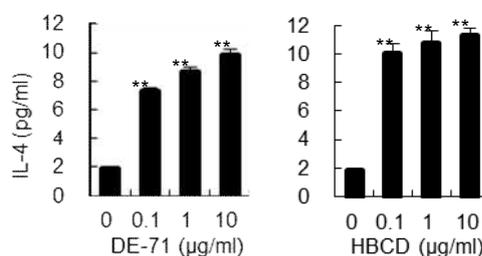
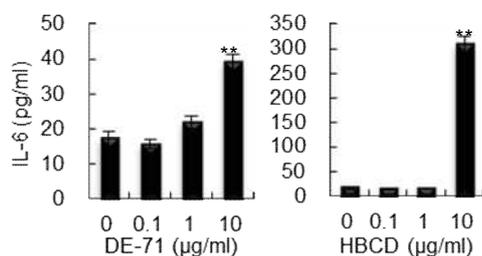


図2 BFRsが気道上皮細胞のIL-6産生に及ぼす影響

図3 BFRsが脾細胞のIL-4産生に及ぼす影響

※図は代表例としてDE-71とHBCDの結果を示した。(**p<0.01 BFRs曝露対コントロール)

BFRsは、気道上皮細胞の毒性や炎症に関わる因子の発現修飾やEGF産生の増加によって呼吸器系に影響を及ぼしうることを示された。一方、作用強度としては強くないが、BFRsは、免疫担当細胞の分化・成熟や活性化等にも影響を及ぼすことが明らかになった。また、気道上皮細胞におけるIL-6やIL-8、sICAM-1、EGFの産生、脾細胞におけるCD86の発現やIL-4の産生等が影響スクリーニング指標として有用である可能性が示唆された。

3) アジア諸国を発生源とする局所的・広域的な微量元素汚染の実態解明

(田辺信介・板井啓明・宝来佐和子・高橋 真)

経済成長の著しいインド・ベトナムのe-waste処理場における土壌および大気粉塵中重金属類濃度を網羅的に分析し、汚染実態について考察した。インド・Bangalore地域では、e-waste処理場周辺における土壌中Cu、Ag、Pb、Sn、Sb、Ag、Mo、Cd、Bi、In、Hg濃度が対照地域と比較して統計的に有意な高値を示した。濃縮係数[EF = (幾何平均濃度)e-waste / (幾何平均濃度)対照地域]を算出したところ、Cu、Ag、Cd、Sn、Sb、Hg、PbでEF値が10を超過した。ベトナム・Hanoi周辺地域では、各e-waste処理場間で大きな差が見られた。最も汚染が顕著なのは鉛バッテリーリサイクル地域であり、とくにPbとSbのEF値はそれぞれ86、19ときわめて高値であった。Pbバッテリーの電極にはSbを数%含む合金が使用されることがあり、高濃度のSbは電極に由来すると推測される。この地域では、SnやBiも高いEF値(それぞれ5.3、4.0)を示しており、Pbの精製過程で環境中に放出されたと推測される。e-waste解体地域、プラスチック回収地域では、微量元素濃度は概して低く、対照地域との有意差もほとんど見られなかった。上記のように、Bangalore・Hanoiの両地域周辺において、e-wasteやPbバッテリー解体に伴う重金属汚染が認められた。各地域住民の健康影響リスクを評価するため、Hazard比(HI)を算出したところ、バ

ンガロール地域ではPb, Hg, Sbについて、ハノイ周辺地域ではPbについてHI値が1を超過し、健康影響が危惧されるレベルに達していることが確認された。

一方で、広域的な汚染が懸念される重金属類もある。Hgはその代表例であり、産業革命以降大気中のHg濃度は約3倍に上昇していると報告されている。大気中Hg濃度の経年的上昇は、海洋中Hg濃度の上昇をもたらすと予察されるが、分析化学的な制約から、外洋における経年的変化に関する地球化学的データが乏しいのが現状である。本研究では、外洋性鯨類中のHgが、(1)濃度が高く信頼性の高いデータが得られること、(2)生息域の積分値を反映することから、経年変動の検証に有効であると考え、1970年代以降に採取され冷凍保存されてきた沿岸性ならびに外洋性鯨類試料を供試し、日本沿岸から外洋域に至るまでのHg濃度の経年変動について解析した。北日本沿岸域に生息するネズミイルカ45検体（採取年代1985 - 2010年）、外洋域に生息するスジイルカ48検体（採取年代1977 - 2004年）およびカズハゴンドウ69検体（採取年代1982 - 2011年）の肝臓および脳中の微量元素濃度を分析した（図4）。一般に、鯨類の肝臓中Hgは年齢依存的に蓄積することが知られているため、体長または年齢とHg濃度の相関を解析したところ、全ての種で有意な正の相関が認められた($p < 0.05$)。このことから、重回帰分析を用いて体長（または年齢）の影響を補正したうえで、肝臓中の総Hgならびに有機Hgと採取年代の相関を解析した。

重回帰分析の結果、ネズミイルカではHgレベルと採取年に有意な相関は認められなかったが、スジイルカとカズハゴンドウのHgレベルは、有意な経年的上昇を示した ($p < 0.05$)。すなわち、Hgレベルの経年的上昇は、沿岸域よりも外洋域で顕著であることが示唆された。この傾向は日本近海（気象庁 2011）や北太平洋（Sunderland et al., 2009）における海水のモニタリングデータと一致しており、海水汚染の経年変動が海洋生態系に及んでいることを示唆している。スジイルカおよびカズハゴンドウから検出された脳中有機Hg濃度を毒性学的知見と比較したところ、半数以上の検体の値はラットで得られた毒性影響濃度に匹敵する有機Hgレベルに達しており、中枢神経系への影響が危惧された。近年の世界的なHg放出量の増加には、中国をはじめとしたアジア諸国の寄与が高いと推定されている。これは他の微量元素についても同様であり、アジア沿岸域から外洋域にかけて、Hgをはじめとした各種微量元素の経年変化を追跡することが重要である。

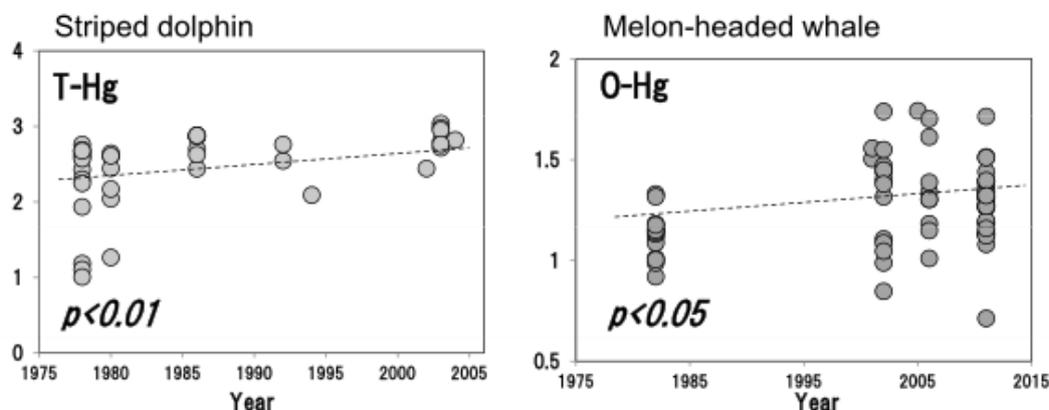


図4 ネズミイルカとカズハゴンドウの総水銀と有機水銀の時系列変化

4) 3Rと廃棄物管理方策、E-Waste リサイクルに関する国際動向

(由田秀人、平井康宏、酒井伸一)

資源の有効利用を通じて環境と経済の両立を図る 3 R（廃棄物の発生抑制（リデュース Reduce）、再使用（リユース Reuse）、再生利用（リサイクル Recycle））への取り組みにより循環型社会を目指す「3 R イニシアティブ」が推進されている。さらに、3 R 推進は気候変動対策に向けて統合的に推進されるべきとの認識になりつつある。一方で、3 R 政策を推進してもなお残る廃棄物の適正処理処分は重要な課題である。加えて、有害化学物質管理をも含む統合的な廃棄物管理政策を的確に推進することも求められる。日本が 2011 年に経験した東日本大震災において多量に発生した災害廃棄物に対する適正処理を適正に推進することは、廃棄物管理において重要な仕事となる。

循環型社会形成に向けて、3 R 政策は廃棄物管理や温暖化対策の基本であるとの認識が国際的にも定着しつつあるが、国情や政策戦略に応じてその政策展開は多様であり、その効果にも特徴があると考えられる。そこで、米国、欧州連合、韓国、ドイツ、スウェーデン、中国、日本、インドネシア、ベトナム及びオーストラリアの 9 カ国 1 地域における廃棄物管理政策とその効果について比較することにより、3 R と廃棄物管理政策の特徴と効果について検討するとともに、3 R による廃棄物リサイクル制度の方向性について考察を加えることとした。2009 年 10 月と 2011 年 9 月に上述の国や地域における 3 R や廃棄物に関する研究者や政策担当者を日本に招聘して国際ワークショップを開催して情報交換を進め、関連の文献サーベイを併せて実施することにより研究を進めた。

5 カ国 1 地域における廃棄物管理の階層は、基本的には、Reduce, Reuse, Recycle の優先順位が明示されている。3 R についてサーマルリカバリーが明示されており、これには廃棄物焼却に伴う廃熱発電や有機性廃棄物からのメタンガス回収等が含まれる。これは廃棄物管理分野における温室効果ガス対策に関連する。EU においては、廃棄物管理制度について、3 R 政策を理念から法的制約性を有する実効性を持たせること、錯綜する制度を単純化していくことを制度設計の基本としている点が特徴的である。循環経済を政策理念とする中国においては、固形廃棄物環境汚染防止法第 3 条により、最優先の Reduce に関して単に量の縮減だけでなく、廃棄物の持つ危害性をも縮減することを明示している点は特徴的である。

3 カ国 1 地域における都市固形廃棄物 (MSW) の発生量及び処理内訳を表 1 にとりまとめた。ここで整理した処理内訳は、直接リサイクル量、直接焼却量、直接埋め立て量であり、合計値は発生量と一致する。日本の場合は、リサイクル施設により破砕、選別された後の焼却物、リサイクル物、埋め立て物の量をそれぞれに加算し、かつ、埋め立て量には焼却残渣が含まれる。ここでは他国との比較のため、日本のリサイクル量については EU と同様の算定方法（発生量 - （直接焼却量 + 直接最終処分量））で求めた。したがって、焼却量にはリサイクル施設で選別された可燃物が含まれず、最終処分量には、リサイクル施設で選別された不燃物及び焼却残渣が含まれない。この結果、リサイクル量は公表されている量よりやや多い点に留意が必要である。また、米国、EU 及び韓国ではサーマルリカバリーはリサイクルに含まれていないが、日本については RDF 化分についてはリサイクルに含まれている。発生量をみると、米国が 809kg/人/年と最も多く、次いで EU 524kg/人/年、日本 399kg/人/年、韓国 382kg/人/年の順である。米国の MSW の組成（重量比、2008 年）をみると、最も多いのは容器包装類であり 30% を占める。ついで庭ごみを含む有機性廃棄物が 27% であり、紙類等が 24%、鉄、プラスチック類が 18% となっている。

表1 各国の都市ごみ処理内訳（単位：kg/人/年（%））

国・地域	リサイクル	焼却	埋立	合計
米国, 2008	268(33.2)	102(12.7)	438(54.2)	808(100.0)
欧州連合, 2008	215(41.0)	102(19.5)	207(39.5)	524(100.0)
日本, 2007	100(25.1)	290(72.6)	9(2.3)	399(100.0)
韓国, 2007	221(57.8)	71(18.6)	90(23.6)	382(100.0)

循環型社会形成に向けた3R政策においては、資源の再利用を最大化するための回収、再精製に係る制度設計と技術構築が求められるが、有用資源の中には、資源性と有害性を併せ持つ物質も多く、3R政策においては、物質の持つ有害性に対する管理戦略を内包することが不可欠である。家庭系有害廃棄物（HHW）には、レアメタルやクリティカルメタルのような枯渇性や貴重性が高くその回収、再利用が必要とされる物質が含まれるが、これらには、鉛や水銀のように環境放出を適切に管理することが必要とされる有害な物質も含まれる。3R政策においては、資源の持つ有害性に配慮した管理戦略を織り込むことが必要であることは国際的にも強く認識されつつあるが、具体的なHHW管理戦略については、国情に応じて多様である。

3Rを効果的に進めるためには使用済み製品の回収率を高めるための工夫が必要である。その方法としては利用者の利便性が高い資源回収拠点の整備、EPRによる製造工程及び販売者による回収スキームの有効性が報告された。一方でe-Wasteのような有用資源を含む使用済み製品は国際的に流通しており、この結果、回収率があがらず、貴重な再生資源が拡散し、失われることに対する懸念も指摘された。消費から回収に至る効率や利便性を高めることは世界共通の課題であるが、回収された使用済み製品の国際物流については単に経済効率の問題に留まらず、資源確保に関する戦略として議論されるべき重要な課題であると考えられる。

3R政策においては、回収工程や再生資源そのものの有害性管理の視点が不可欠である。e-Wasteにおいてはさまざまなメタル回収が行われるが、回収率向上のためには機械的選別よりも手作業による選別が有効とされることが多い。また機械選別により得られた再生資源には非意図的に有害物質が混入する可能性があることも指摘された。一方、e-Wasteからの手選別による資源回収においては、作業環境への配慮が必要である。e-Wasteからの手作業によるメタル回収はアジア地域で広く用いられている手法であるが、重金属類や有機ハロゲン化合物による健康への影響や周辺環境汚染に対して十分な配慮が必要であることが指摘された。インドネシアでは野焼きや手作業による資源回収が行われており、3Rや有害物質管理を行うための廃棄物管理システムの整備が必要とされた。同様にベトナムにおいても有用資源を含む廃製品からの資源回収は重要な産業となっているが、作業環境や周辺環境の保全については、制度設計が進められているものの更なる対策が必要と考えられている。また家庭内に流通する製品には、レアメタルマテリアルフローからみて貴重な製品（携帯電話等）や適切な管理が求められる製品（蛍光管、歯の治療に用いられるアマルガム等）がある。有害物質を含有している製品の廃棄に際してはHHWとしての管理が必要である。日本では北九州エコタウンのように機械選別や手作業を中心とした解体・選別作業を行う工程と環境管理の行き届いた非鉄精錬工場等における二次抽出を行うシステムが構築されつつある。e-Wasteからの資源回収システムにおいては、資源回収の効率性と有害物質管理が両立するシステムが不可欠である。そのためには、資源回収や棄物管理の制度において有害物質管理の視点を含むことが必要であり、技術的には製品情報の透明性を高めるとともに資源回収工程全般におけるマテリアルフロー管理を進めることが有効であると考えられる。

5) 家庭系有害廃棄物の保有・廃棄動態と回収試行、およびそのフィージビリティ

(酒井伸一、浅利美鈴、坪内俊明、堀寛明、濱口弘行、三浦貴弘)

家庭系有害廃棄物 (HHW: Household Hazardous Waste) の家庭内の保有及び廃棄の動態、市民意識を把握すること、また、海外の回収モデル等も参考に、それらの回収試行を行うことで、回収・リサイクル/適正処理システムの在り方を検討するための知見を得ることを目的とした。まず、京都市内を中心に、様々な属性を持つ家庭 15 世帯を訪問し、家の全ての部屋や物置等を確認し、保有・退蔵されている HHW (殺虫剤、塗料、洗剤、電気製品等) の数量を調査した。また、アンケート調査や統計値との比較を行った。次に、平成 24 年 2 月から 3 月の間、京都市内の 7 地域を選定し、各地域とも土日を含む計 3 回、幅広い有害・危険物等を対象に、移動式資源回収をモデル試行した。各地域の公園等に、1 回当たり概ね 2 時間程度、回収車両とともに回収ボックス等を設置し、住民の方に呼びかけた上で回収及び参加者へのアンケートを実施した。

家庭訪問調査の結果、HHW の保有点数は最小 79 個/世帯、最大 229 個/世帯となり、その内訳 (図 6) とともに世帯により大きく異なることがわかった。また、退蔵 (使用しないまま保管) されたものも多く、30 年以上使われていないもの、現在使用禁止となっている物質を含むもの、容器の腐食が著しいものも見られた。図 6 の電気機器の割合が大きいのが、この中に電池が含まれていることに注意が必要である。回収モデル試行の結果、1 回につき 20~119 人、合計 1,113 人の利用者があり、回収量 (表 2) は、9,253kg となった。小さな製品であるにもかかわらず、乾電池は 416.5kg に及んだほか、中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶 (624.4kg)、化学薬品や塗料類 (442.9kg) も相当量回収されたことがわかる。これらは、家庭訪問調査においても、保有や退蔵が確認された製品群であり、これら家庭系有害廃棄物等へのきめ細やかな対応を望む声が多いことが確認できた。

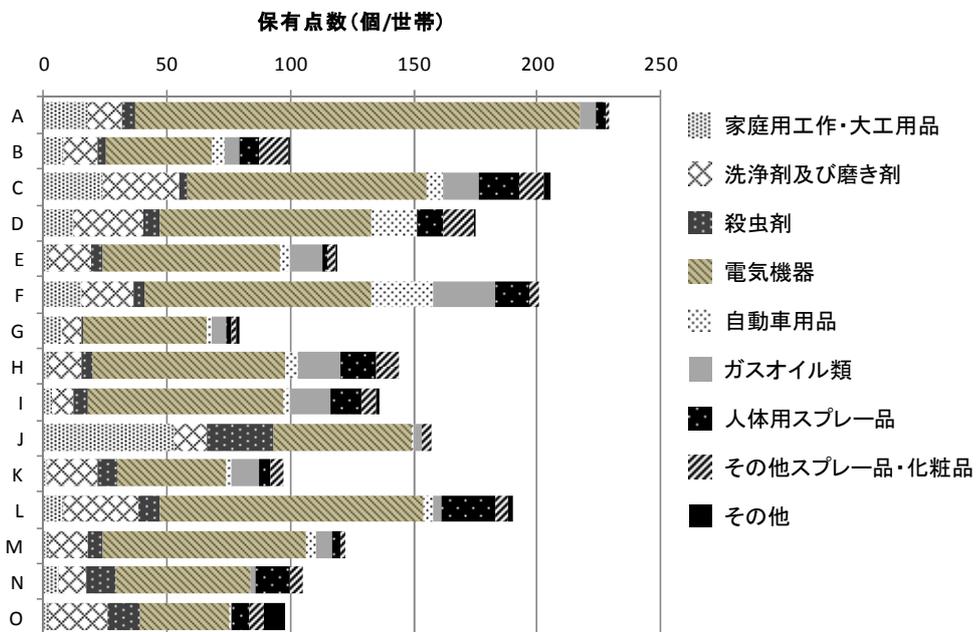


図 6 各世帯の製品保有点数 (合計: 2,157 点)

表2 回収モデル試行の合計回収重量 (kg)

石油類	865.2
医薬品・農薬	73.8
化学薬品・塗料・ワックス・絵の具	442.9
洗浄剤	164.5
中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶	624.4
せん定枝	477.9
てんぷら油	254.6
蛍光管	218.6
乾電池	416.5
リユースびん	292.9
紙パック	18.1
古紙類	1,129.9
雑がみ	158.8
古着類	2,199.9
ボタン電池	0.8
充電式電池	3.2
小型家電	428.1
記憶媒体類	1,383.0
刃物類	47.9
インクカートリッジ	12.6
水銀体温計	0.5
使い捨てライター	39.0
合計	9,253.2

家庭系有害廃棄物を含む幅広い有害・危険物の保有実態に関する家庭訪問調査及び回収モデル試行を行った結果、保有・退蔵の事実と回収へのニーズが明らかになった。今後、品目ごとのフローとストックに関する知見、循環・適正処理の在り方や費用負担を含むシステム構築の在り方についての議論が必要と考えられた。

International Comparative Study on Policy Developments of 3R and Waste Management, and Integration with Chemical Control Systems

Sakai S¹, Hirai Y¹, Asari M¹, Takano H², Takigami H³, Koike E³, Tanabe S⁴, Yoshida H⁵, Tsubouchi T⁶

¹ Environment Preservation Research Center, Kyoto University, Japan; ² Graduate School of Engineering, Kyoto University, ³ National Institute for Environmental Studies, Japan; ⁴ Center for Marine Environmental Studies (CMES), Ehime University, Japan; ⁵ Japan Environmental Safety Corporation (JESCO), Japan; ⁶ Environment Bureau, Kyoto Municipal Government, Japan

Abstract

Household hazardous wastes include electric equipment and fiber products that contain flame retardants. Other instruments which contain heavy metals, rare metals, volatile toxics and persistent organic pollutants are also included. The impact of these materials to

humans and to the environment is a matter of great concern. We took indoor dusts and other dusts caused during the process of waste recycling as research targets, and studied characterization of their physico-chemical properties, transport models, and exposure impacts.

Brominated flame retardants (BFRs) such as polybrominated diphenyl ethers in indoor environments were investigated by toxicological and physicochemical approaches. Bromine is transferred from products to dust matrixes not only through miniaturization and subsequent direct migration into dust as plastic and textile fragments but also through other pathways such as vaporization and airborne transfer of micro particulates. Chemical analysis was combined with the DR-CALUX assay and HPLC fractionation to quantitatively evaluate dioxin-like compounds in indoor dusts. Median-based contributions of the theoretical CALUX-TEQs calculated for PBDFs, PCDDs, PCDFs, non-ortho Co-PCBs, PCNs, and mono-ortho Co-PCBs to the experimental values were 17%, 14%, 8.8%, 0.98%, 0.10%, and 0.019%, respectively, which indicates that PBDFs, which are not internationally regulated dioxins, were important dioxin-like compounds in indoor dust.

To evaluate the effects of residual chemical substances of indoor environment, especially BFRs, on respiratory and immune systems, we investigated whether BFRs affect the splenocytes, bone marrow-derived dendritic cells (BMDC) and bronchial epithelial cells in vitro. The present results suggest that BFRs can aggravate immune/allergic reactions through the activation of immune cells including the increase of CD86 expression and IL-4 production in splenocytes, enhance the differentiation and activation of BMDC, and can induce and/or aggravate respiratory inflammation through the enhanced production of proinflammatory cytokines and EGF from the bronchial epithelial cells

In local survey, electronic waste recycling sites in Bangalore, India, and Dong Mai, Vietnam were intensively studied. In global survey, hepatic Hg level in cetaceans, which have been archived in Environmental Specimen Bank, Ehime University, Japan since 1970s, were used to assess the temporal change in Hg level in open ocean. The results of both surveys suggested significant environmental and biological impacts of heavy metals derived from Asian countries.

As a result of home visiting survey, the numbers of HHW storage were between 97 and 229 per household. We found that some home keeping products have leaked their content which was considered risks of long-term keeping. As a result of collection trial of broad hazardous and dangerous waste containing household hazardous waste in Kyoto city at 7 sites for three times each, 1,113 participants and 9,253 kg of wastes were obtained, and also the knowledge for domestic use and dead storage for each item was acquired. Moreover, although it turned out that citizens' needs for such collection are clear, detailed discussion is required especially for material flow and stock amounts estimation, recycling and/or treatment methods for each items, and responsibility or partnership of producers, detailers, consumer, governments and recyclers.

Key words: 3R (Reduce, Reuse and Recycle), Waste Management, Policy Developments, dioxin-like compounds, DR-CALUX, indoor dust, PBDFs, Brominated flame retardants (BFR), Indoor Environment, Allergy, in vitro bioassay, Heavy metals, Asian developing countries, Electronic waste recycling sites, Household Hazardous Waste, Dead storage, Collection system

第2章 室内環境における家庭系有害化学物質・有機臭素系難燃剤の動態と 毒性及びその制御

1-1 室内ダストに含まれる臭素含有成分の検索同定

分担研究者 滝上英孝 (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター
研究協力者 鈴木 剛 (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター

A 研究目的

PBDEs は過去に製造された難燃製品中に今なお含有されているため、製品の使用等に伴ってその環境負荷やヒトへの曝露が継続している。近年、室内ダストから PBDEs が非常に高い濃度で検出され (Jones-Otazo et al, 2005; Suzuki et al, 2006)、その取り込みが人への曝露ルートになっていることが指摘されている (Jones-Otazo et al, 2005; Suzuki et al, 2006)。室内で使用される電子製品や繊維製品等の BFRs 含有製品との関連性が考えられるが、それらを起源とする BFRs がダスト成分のどの画分に存在するのかについて調査した研究は、これまで実施されていない。

本研究では、エネルギー分散型微小部蛍光 X 線分析法 (μ XRFS) と高分解能 GC-MS を用いて、室内ダストの臭素含有成分を指標として BFRs の存在画分の推定を試みた。臭素含有成分は、防災機能が強化されている施設 (ホテルなど) の室内ダストや PBDEs が非常に高い濃度で検出されているテレビ内部ダストを対象として、 μ XRFS を用いて検索・同定を行った。同定された臭素含有成分は、デジタルマイクロスコープを用いてその由来を推定するため拡大画像を観察し、PBDEs の定量分析を行いその存在の有無を検証した。

B 研究方法

1. 試料収集

室内ダストは、2005 年 5 月から 2007 年 3 月にかけて、一般家庭、大学・研究機関、ビジネスホテル、事業所、飲食店、家電量販店、クリーニング店、病院、保育園・幼稚園及び老人介護施設等から収集した 45 検体を分析試料とした。テレビ内部ダストは、使用済み廃テレビを入手し、バックカバーを外して、カバー、電子銃、ブラウン管及び基板上に付着しているダストを採取した。具体的には、ポンプ吸引を行い、ガラス容器で挟み込んだグラスファイバーフィルター上に捕集して採取した。各種室内ダストは、基本的に掃除機のクリナーバックの集塵物を試料とした。一般家庭および大学・研究機関のダストは、ふ

るいを通して 1.0mm 以下を分析試料とした。それ以外の室内ダストについては、小石、木片、ホッチキスの芯、クリップ、髪の毛などを出来るだけ取り除いて分析試料とした。

2. 前処理

ダストは、1mg 程度採取し、透明テープ上に薄く分散塗布したものを分析試料として μ XRFS に供した。ポジティブコントロールとして、テレビ筐体、防災カーテン及び PC 筐体といった BFRs 含有製品も、ハサミ等で細片化したものを分析試料として μ XRFS に供した。テレビ筐体、防災カーテン及び PC 筐体は、約 10%、1%及び 0.1%の臭素を含有する。

3. 微小部蛍光 X 線分析装置 (μ XRFS)

μ XRFS は、島津製作所製エネルギー分散型 μ EDX-1200 を用いて実施した。50 μ m の微小領域が測定可能な本装置により臭素マッピング (バックグラウンド低減のため Ni フィルター使用) を 10 \times 10 mm² のエリアを対象として実施した。測定条件は、チューブ電圧 50keV、電流 1000 μ A 及び照射口径 50 μ m とした。基本的に測定時間 0.5 秒で測定を行い、強度をマッピング図としてイメージ化した。後述するテレビ内部ダストと大学ダストはより低い濃度の臭素を検出するため 100 秒あるいは 1,000 秒の測定時間で再測定した。また、本装置の妥当性は、蛍光 X 線プラスチックスタンダード PE-5E6 (ポリエチレン臭素添加試料: 0、40、70、200、400 及び 800ppm) を使用して確認した。

4. 実体顕微鏡による臭素含有成分の拡大観察

臭素強度マッピングの結果から同定された臭素を高濃度 (0.1%程度以上) に含む粒子や繊維などの臭素含有成分の由来を推定するために、それらの拡大画像をデジタルマイクロスコープで観察した。

5. PBDEs 分析

高濃度 (0.1%程度以上) の臭素含有成分は、PBDEs を抽出するために 2ml のテトラヒドロフラン (THF) 中で 15 分間超音波処理した。超音波処理後、THF 画分を回収した。この抽出行程を計 3 回実施した。THF 画分は、クリーンアップスパイクとして 13C ラベル体の PBDE mix を添加して濃縮した後、シリンジスパイクとして 13C ラベル体の BDE138 を添加して高分解能 GC-MS による PBDEs の定量分析を行った。

C 結果と考察

1. ダストの臭素強度マッピング

臭素含有成分は、ダスト 48 試料のうち 27 試料で検出された。臭素含有成分が検出された事例として室内ダスト 9 試料の臭素強度マッピング画像を、テレビ筐体(臭素含有量 10%)、防炎カーテン(臭素含有量 1%) 及び PC 筐体(臭素含有量 0.1%) といった BFRs 含有製品の結果と共に図 1 に示す。結果として、室内ダストには、臭素濃度がおよそ 1.0%程度までの成分が存在することが示されている。また、ビジネスホテル 1 (図 1-g) やハウスダスト(図 1-l) で検出されている臭素含有成分の蛍光強度は、PC 筐体と比較すると低いものの、トレースレベルで検出されていることがわかる。この結果は、本分析条件において 0.1%程度の臭素含有成分を識別することが可能であることを示している。本研究の結果は BFRs 等の臭素化合物を高濃度を含む製品が微細化してダストに偏在する可能性を示した。実際、高濃度の臭素を含有する電子製品や繊維製品等は、家具として家庭(Takigami et al, 2009a) やビジネスホテル(Takigami et al, 2009b) で使用されており、PBDEs 等の臭素化合物を含む製品が微細化してダストへ移行している可能性が示唆された。

2. 室内ダストで検出された臭素含有成分の拡大観察

ピンセットで採取することができた直径 0.5~1.5mm 程度の 12 個の臭素含有成分の拡大画像を図 2 に示す。撮影した拡大画像から、臭素含有成分は形状によって 2 種類に分類できた。12 個のうち、9 個の臭素含有成分は、様々な表面形状と色彩を有する微粒子成分であることがわかった(図 2、BF (bromine-rich fragment)-1~9)。残りは、繊維状成分(繊維の断片とかたまり)であった(図 2、BF-10~12)。

3. 臭素含有成分中の PBDEs

臭素含有成分と PBDEs の関連性を評価するため、細い繊維状のため回収が困難であった BF-12 を除く臭素含有成分 11 試料について PBDEs 分析を行った。また、同条件で臭素が検出されなかったダストマトリクス成分についても PBDEs 分析を実施した。PBDEs は、BF-1、-2、-4、-5、-8、-9、-10 及び-11、臭素が検出されなかったダストマトリクス成分で検出された(図 3)。 μ XRFS で測定した臭素含有量と PBDEs 濃度の相関は低く、PBDEs 以外の臭素化合物が臭素含有成分に含まれている可能性が考えられた。既報研究では、室内ダスト中に TBBPA、HBCD や TBPh が高濃度に含まれることを明らかにしている(Suzuki et al, 2008; Takigami et al, 2008; 2009a; 2009b)。PBDE 異性体パターンは、

PBDEs が検出された全ての臭素含有成分で BDE209 が主要であった。これは、日本の室内ダストの一般的な PBDEs 異性体パターンと類似している (Suzuki et al, 2006)。DecaBDE (BDE209) 製剤は、電子製品に使用されるハイインパクトポリスチレンのような熱可塑性樹脂に使用される傾向であるが、その一部は防災繊維としても使用されている (Hardy, 2002)。これまでの既報研究と本研究の結果は、製品含有の PBDEs が微細化したプラスチックや繊維を通じて室内ダストに移行していることを示唆している。

4. ダストの高感度臭素強度マッピング

本研究では、滝上ら (2008) の研究において PBDEs を高濃度に含んでいることを既に把握しているテレビ内部ダスト (PBDEs 濃度 : 99 $\mu\text{g/g}$ 、BDE209 濃度 : 88 $\mu\text{g/g}$) も μXRFS に供した。0.5 秒の測定時間で臭素強度マッピングを行った結果、このテレビ内部ダストは臭素含有成分が検出されず (図 4-b)、対象とした試験領域に 0.1%以上の臭素含有成分が存在しないことが示された。0.5 秒の測定条件では、0.1%以下の臭素濃度を判別できないため、200 倍の測定時間 (100 秒測定) による高感度分析を行った。その結果、臭素が試料塗布面で検出された (図 4-c)。同時に鉛も測定したが、臭素と同様の傾向はみられなかった (図 4-d および e)。同様の結果は、大学で採取した室内ダスト (Suzuki et al, 2006、オフィスダスト 8) でも得られた (図 5)。大学ダストは、先のテレビ内部ダストと比較して 2 オーダー程度低い濃度レベル (PBDEs 濃度 : 1.5 $\mu\text{g/g}$ 、BDE209 濃度 : 0.45 $\mu\text{g/g}$) であったので、200 倍の測定時間 (100 秒測定) だけでなく、2,000 倍の測定時間 (1,000 秒) による高感度分析も行った。その結果、臭素が大学ダストでも検出された (図 5-c と d)。これらの結果は、BFRs 等の臭素化合物を含有するプラスチック等が微細物として移行する経路だけでなく、臭素化合物の蒸散や極小微粒子による移行経路の存在も示唆するものであった。

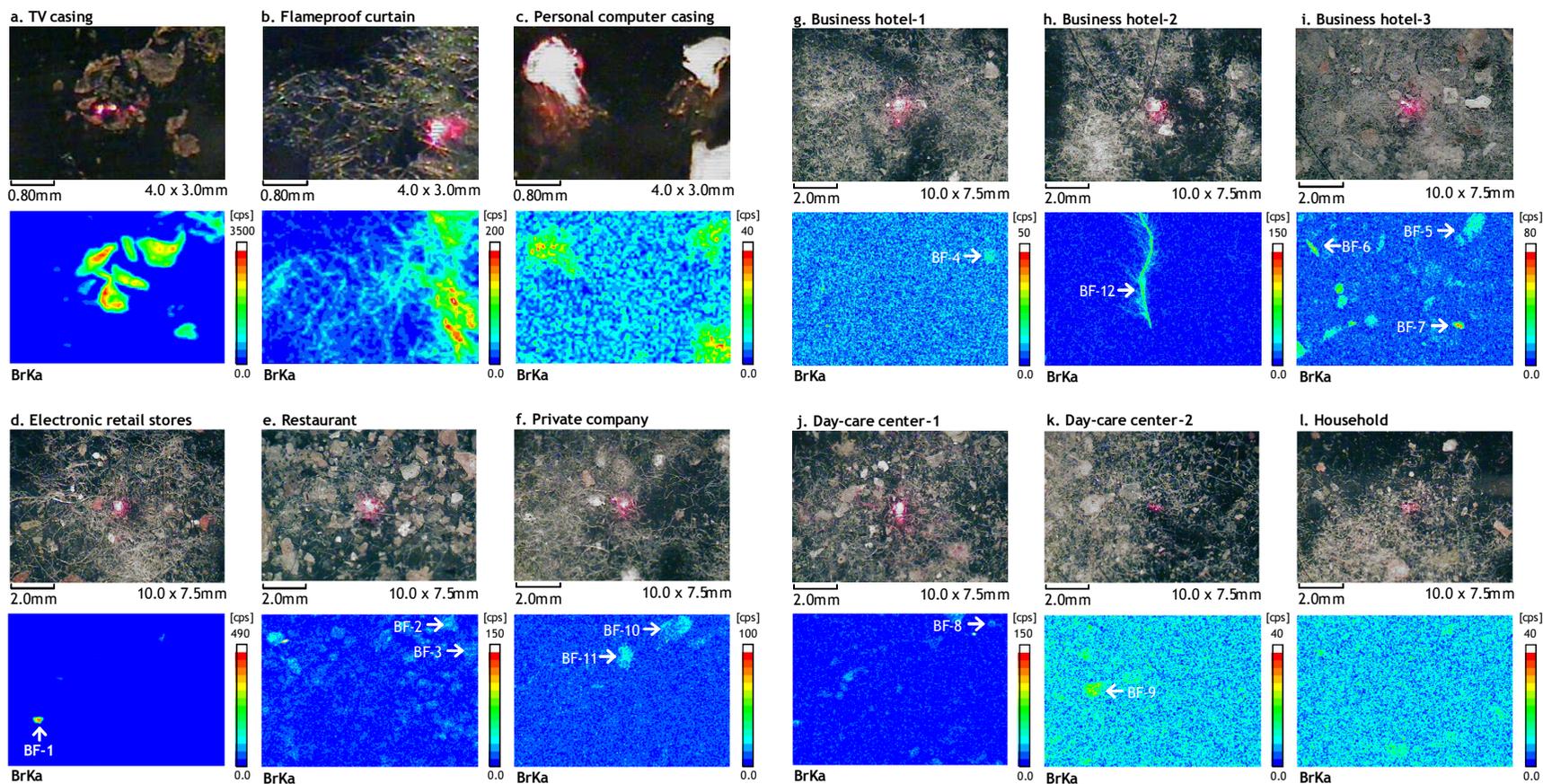


図1 室内ダストと BrFRs 含有製品の供試料画像（上段）と μ XRFS による臭素強度マッピング画像（下段）。矢印で示されている BFs（臭素含有成分）については、デジタルマイクロスコープにて拡大画像が観察された（図2参照）。

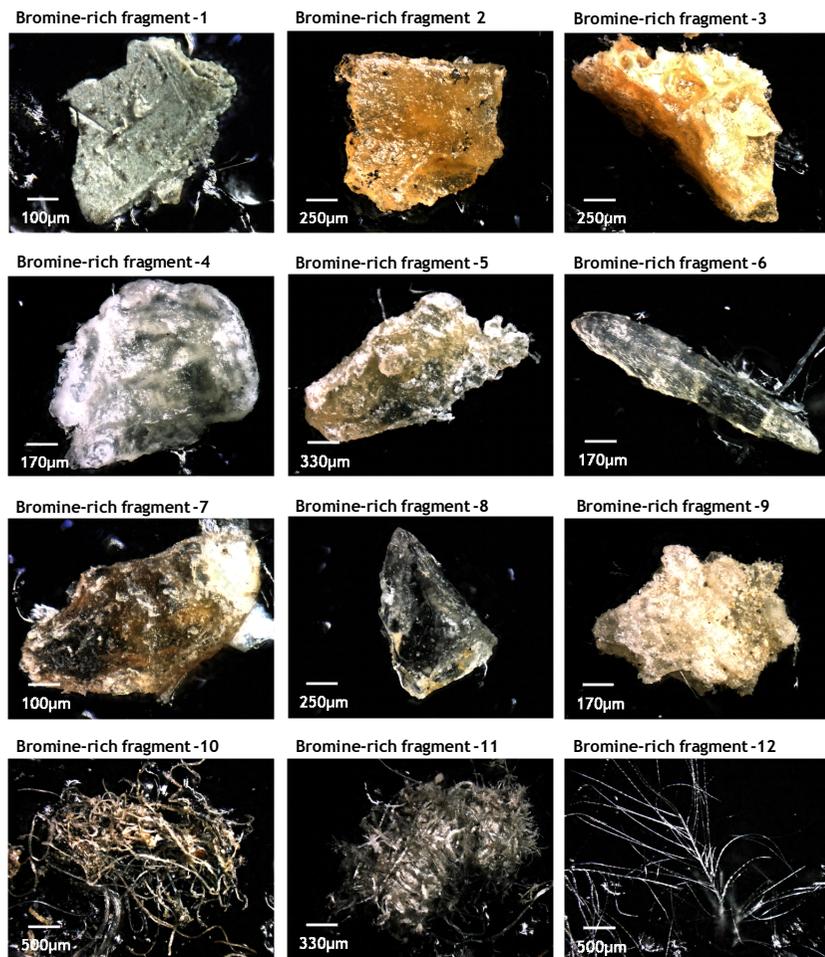


図2 デジタルマイクロスコープで撮影した室内ダスト中の臭素含有成分の拡大画像（100倍～500倍）

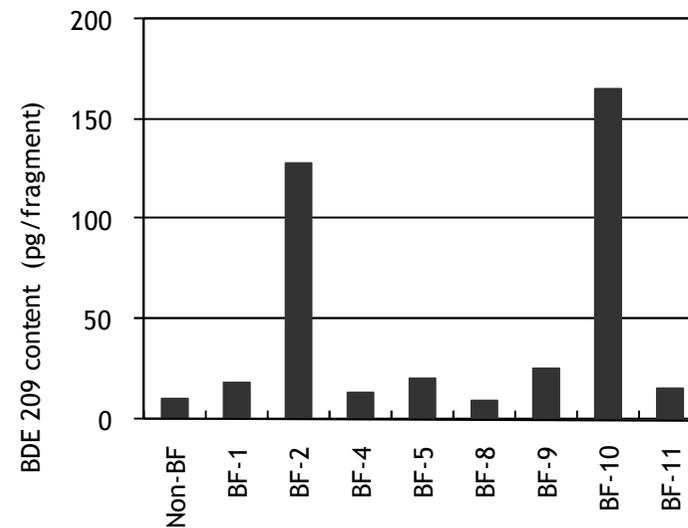


図3 臭素含有成分中のBDE209含有量(pg/臭素含有成分): non-BF = non-bromine-containing fragment, BF = bromine-rich fragment

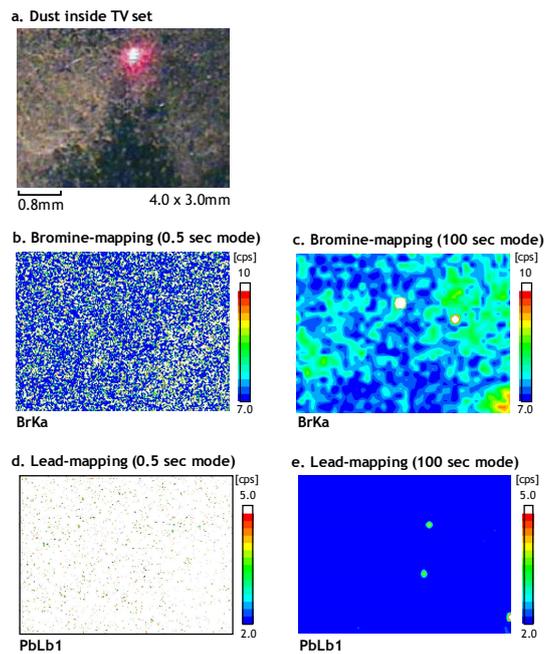


図 4 テレビ内部ダストの臭素 (a および b) および鉛 (c および d) 強度マッピングデータ

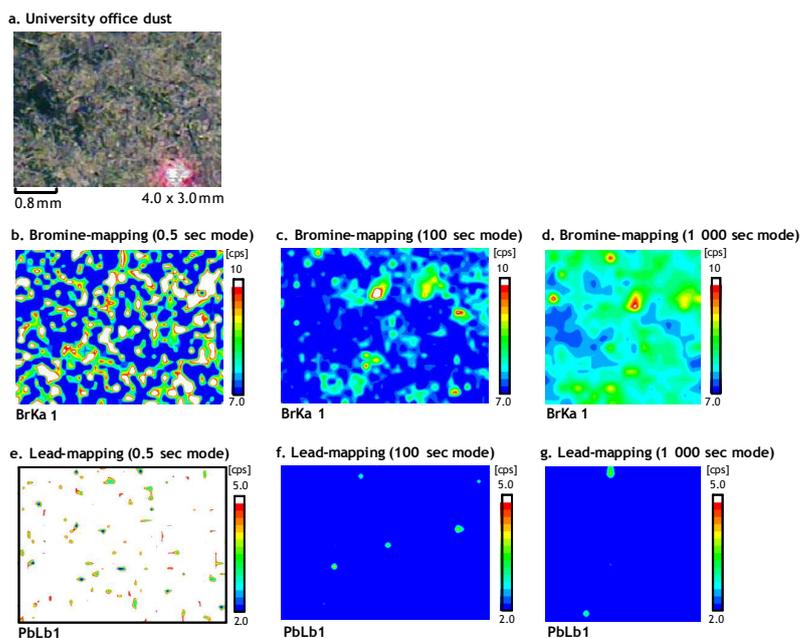


図 5 大学ダストの臭素 (a および b) および鉛 (c および d) 強度マッピングデータ

1-2 *In vitro* バイオアッセイ／化学分画／化学分析統合手法による室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物の毒性同定評価 – 臭素化ジベンゾフランの重要性 –

分担研究者 滝上英孝 (独) 国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター

研究協力者 鈴木 剛 (独) 国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター

A 研究目的

室内ダストは、室内で使用される化学物質の溜まり場となっており、その取り込みが小児（乳幼児や幼児）への重要な曝露源になっていることが指摘されてきた（Butte et al, 2002）。国内外の最近の研究では、室内ダストから PBDEs などの BFRs が高い濃度で検出されることを報告しており、ダストの取り込みが PBDEs の重要な曝露経路であると結論付けている（Jones-Otazo et al, 2005 ; Stapleton et al, 2005 ; Suzuki et al, 2006a）。我々は、ダイオキシン様活性を検出する DR-CALUX アッセイを用いて、室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物を影響ベースで包括的に評価した（Suzuki et al, 2007）。室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物は 38~1400 pg CALUX-TEQ/g（中央値 160 pg CALUX-TEQ/g）と算出され、これまで報告されている環境試料（港湾底質等）と比較しても非常に高いレベルであることがわかった。食品類と比較すると、室内ダストの濃度レベルは 3~5 桁程度大きいことが示された。濃度レベルの高さを考慮して、室内ダストの取り込みによるダイオキシン類縁化合物の曝露量を推定した結果、特に小児については、飲料水や土壌などを介したダイオキシン類（PCDD/Fs 及び Co-PCBs）の曝露量よりも明らかに高いレベルであり、室内ダストの摂取量やダイオキシン類縁化合物の濃度によっては魚類や肉類を介したダイオキシン類曝露量よりも高くなることが推定された。WHO-IPCS（van den Berg et al, 2006）がダイオキシン類縁化合物の曝露実態について調査・検討していることを鑑みると、室内ダストのダイオキシン類縁化合物を明らかにするアプローチは曝露経路での有用な知見を WHO-IPCS に提供することに繋がり意義がある。そこで本研究では、室内ダストを DR-CALUX アッセイ／化学分画／化学分析統合手法に適用して、ダイオキシン類縁化合物の同定検索・定量評価を行なった。

B 研究方法

1. DR-CALUX アッセイ／化学分画／化学分析統合手法に適用する室内ダスト抽出液の調製

室内ダストは、先行研究（Suzuki et al, 2006a）で採取したものを使用した。ダイオキシ

ン様活性レベルは、ハウスダストで 38~900 pg CALUX-TEQ/g (中央値 110 pg/g)、オフィスダストで 67~1400 pg CALUX-TEQ/g (中央値 220 pg/g) である (Suzuki et al, 2007)。この結果を参考にして、本研究では、比較的高いダイオキシン様活性を示すハウスダスト 3 及び 4、オフィスダスト 5 を、DR-CALUX アッセイ/化学分画/化学分析統合手法に適用する試料として選定した。また、複数のハウスダスト (ハウスダスト 3、4、6、9、17~19) からプール試料 (ダスト・プール) も調製して本研究に適用した。室内ダストは、トルエン-ソックスレー法により 16 時間抽出し、トルエンをヘキサンに転溶したものを粗抽出液とした。粗抽出液の一部 (4~5 g 相当量) を硫酸及び銅処理し、水洗・脱水後、22%硫酸シリカゲル/44%硫酸シリカゲルカラムで展開させ、*n*-ヘキサンで溶出した。溶出液は、DMSO に転溶して本研究に適用した。

2. DR-CALUX アッセイ/化学分画/化学分析によるダイオキシン類縁化合物の同定検索

室内ダストのダイオキシン様活性に関連する重要なダイオキシン類縁化合物を同定するために、1. で調製した抽出液を DR-CALUX アッセイ/化学分画/化学分析統合手法に適用した。

はじめに、NITRO (nitrophenylpropylsilica : Nucleosil 5u NO₂, 4.6 × 250 mm、5 μm、Phenomenex, USA) カラムによる順相 HPLC (NITRO-HPLC) 分画を行ない、室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物を芳香環数別に分離することを試みた (Suzuki et al, 2006b)。分離時間は、既報 (Suzuki et al, 2006b) をもとに一部改良して設定し、計 7 つの画分を調製した : 第 1 画分、2.5~5.0 分 ; 第 2 画分、5.0~7.0 分 ; 第 3 画分、7.0~10.0 分 ; 第 4 画分、10.0~14.0 分 ; 第 5 画分、14.0~20.0 分 ; 第 6 画分、20.0~28.0 分 ; 第 7 画分、28.0~120.0 分。各画分は DMSO に転溶して、DR-CALUX アッセイに供した。

次に、高活性を示す NITRO-HPLC 画分を、ODS (octadecylsilica : Wakosil-PAHs, 4.6 × 250 mm、5 μm、Wako, Japan) カラムによる逆相 HPLC (ODS-HPLC) 分画に供し、画分中ダイオキシン類縁化合物を疎水性に応じて分離した (Suzuki et al, 2004)。ODS-HPLC 画分では、計 90 の画分を調製した : 0~25 分まで 30 秒間隔で分画して 50 画分調製、25~50 分まで 60 秒間隔で分画して 25 画分調製、50~80 分まで 120 秒間隔で分画して 15 画分調製。各画分は DMSO に転溶して、DR-CALUX アッセイに供した。

ODS-HPLC 画分については、PCDD/Fs、PCBs 及び PCNs の定性分析を実施して、これらダイオキシン類縁化合物の存在を確認すると共に分画における溶出画分を決定した。また、PBDD/Fs は、化学物質標準品を用いて ODS-HPLC 分画における溶出画分を決定し

た。定性分析は高分解能 GC-MS を用いて行ない、測定条件 は既往研究に準じた：PCDD/Fs 及び Co-PCBs (Tanabe et al, 2004); PCNs 及び PBDD/Fs (Suzuki et al, 2006b)。

3. DR-CALUX アッセイによるダイオキシン様活性の測定

ダイオキシン様活性は、DR-CALUX アッセイを用いて測定した。DR-CALUX アッセイの培養、曝露及び測定については、既報に従って実施した (Suzuki et al, 2004)。

4. 高分解能 GC-MS 分析

室内ダスト 33 試料の粗抽出液の一部 (1.5 g 相当量) を硫酸及び銅処理し、水洗・脱水後、22%硫酸シリカゲル/44%硫酸シリカゲルカラムで展開させ、*n*-ヘキサンで溶出した。溶出液は、定量分析用の *n*-ヘキサン画分として 4°C 下で保存した。定量分析を実施する際に、クリーンアップスパイクとして ¹³C-labeled PCDD/Fs mix、PCBsmix、PCNs mix を *n*-ヘキサン画分に添加して、1~2ml 程度にまで濃縮した。濃縮液は、多層シリカゲルカラム/カーボンリバーシブルカラムに添加し、*n*-ヘキサンを流下した。次いで、多層シリカゲルカラムから取り外したカーボンリバーシブルカラムに 25%ジクロロメタン/*n*-ヘキサン (v/v) を流下後、カラムを上下反転させトルエンを流下して PCDDs、PCDFs、Co-PCBs 及び PCNs を含む溶出液を得た。濃縮後、シリンジスパイクとして ¹³C-labeled PCDD/Fs mix、PCBs mix 及び 1,2,3,5,6,7-HxCN を添加して、高分解能 GC-MS に供した。¹³C-labeled PCDD/Fs、PCBs 及び PCNs の回収率は 64~108%の範囲であった。

C 結果と考察

1. NITRO-HPLC 分画

室内ダスト中のダイオキシン類縁化合物を推定するために、ハウスダスト 3 (550 pg CALUX-TEQ/g)、ハウスダスト 4 (900 pg CALUX-TEQ/g)、オフィスダスト 5 (1,400 pg CALUX-TEQ/g) 及びプール・ダスト (90 pg CALUX-TEQ/g) の抽出液を NITRO-HPLC 分画に供して、分取した 7 画分のダイオキシン様活性を測定した。全てのダストについて NITRO-HPLC 第 1 画分が相対的に最も高い 40~90%程度のルシフェラーゼ活性 (% 2,3,7,8-tetraCDD 300 pM) を示した：10~100 pM 2,3,7,8-tetraCDD に相当するルシフェラーゼ活性。NITRO-HPLC 第 2 画分では、3 pM 2,3,7,8-tetraCDD に相当する 20%前後のルシフェラーゼ活性が誘導された。NITRO-HPLC 第 1 画分には、化学物質標準品を用いて PBDD/Fs、Co-PCBs 及び PCNs が溶出することを既に確認しており (Suzuki et al, 2006)、2~3 環のハロゲン化芳香族化合物の活性寄与が大きいと考えられた。

2. ODS-HPLC 分画

高活性を示した NITRO-HPLC 第 1 画分を ODS-HPLC 分画に供し、溶離時間に応じて分取した 90 画分のダイオキシン様活性を測定した。全ての試料について、ODS-HPLC 第 35 画分～第 60 画分の範囲で顕著なダイオキシン様活性が示され、第 52 画分で共通して高い活性が示された (図 1-a)。ODS-HPLC 画分が示す活性プロファイルは試料間で類似しており、上位にある高活性画分が試料間で共通する傾向にあった。室内ダスト中のダイオキシン類縁化合物は試料間で共通している可能性があり、ある種のダイオキシン類縁化合物が室内環境に遍在していることが示唆された。

3. ODS-HPLC 画分中ダイオキシン類縁化合物の同定検索

室内ダスト中の主要なダイオキシン類縁化合物を推定するため、プール・ダストから調製した ODS-HPLC 画分中の PCDDs、PCDFs、Co-PCBs 及び PCNs の同定検索を高分解能 GC-MS を用いて実施した。PCDDs、PCDFs、Co-PCBs 及び PCNs が想定された ODS-HPLC 画分を図 1-b に示す。また、PBDDs と PBDFs については、化学物質標準品が溶出した ODS-HPLC 画分を図 1-b に示す。溶出画分と DR-CALUX アッセイにおける反応性を考慮して、高活性を示す ODS-HPLC 画分中のダイオキシン類縁化合物は下記の通り決定された：ODS-HPLC 第 35 画分、tetraCBs、pentaCBs 及び hexaCBs；第 39 画分、tetraCNs 及び pentaCNs；第 40 画分、tetraCNs 及び pentaCNs；第 43 画分、hexaCDFs、tetraCNs、pentaCNs、hexaCNs 及び tetraBDFs；第 45 画分、pentaCNs 及び hexaCNs；第 46 画分、pentaCDDs 及び hexaCNs；第 51 画分、pentaBDDs 及び hexaBDDs；第 52 画分、hexaCDDs、heptaCDDs、hexaCDFs、heptaCNs 及び tetraBDDs；第 56 画分、heptaCDFs 及び hexaBDFs；第 59 画分、heptaCDFs；第 60 画分、octaCDD 及び heptaCDFs。これらの結果から、NITRO-HPLC 画分のダイオキシン様活性には、多種類のダイオキシン類縁化合物が関連していることが明らかとなった。

4. ダイオキシン類縁化合物の活性同定評価

測定対象としたダイオキシン類縁化合物 (PCDD/Fs、Co-PCBs 及び PCNs) は、国内で採取した全ての室内ダスト ($n=33$) で検出され、一般家庭や事務室等の室内環境に遍在していることが示された。PCDDs、PCDFs、non-ortho Co-PCBs、mono-ortho Co-PCBs 及び PCNs の濃度範囲は、440～15000 pg/g (中央値 1700 pg/g)、92～4400 pg/g (中央値 450 pg/g)、60～18000 pg/g (中央値 130 pg/g)、560～580000 pg/g (中央値 1400 pg/g) 及び 1600～49000 pg/g (中央値 4400 pg/g) であった。なお、既報の PBDDs 及び PBDFs

の濃度範囲は、<2.5~2300 pg/g (中央値 54 pg/g) 及び 1100~29000 pg/g (中央値 4000 pg/g) である (Suzuki et al, 2006a)。中央値ベースで見ると、PCNs と PBDFs が比較的高濃度で検出された。

これらダイオキシン類縁化合物のうちダイオキシン様活性ベースで重要な物質群を推定するため、各化合物の実測濃度に DR-CALUX における 2,3,7,8-tetraCDD に対する比活性を乗じて化学分析値由来のダイオキシン様活性 (Chemically derived CALUX-TEQ) を算出し、DR-CALUX アッセイで測定したダイオキシン様活性 (Experimental CALUX-TEQ) (Suzuki et al, 2007) との比較考察を行なった (図 2)。Chemically derived CALUX-TEQ は、PCDDs : 4.8~180 pg/g (中央値 22 pg/g)、PCDFs : 2.6~220 pg/g (中央値 14 pg/g)、non-ortho Co-PCBs : 0.53~67 pg/g (中央値 1.6 pg/g)、mono-ortho Co-PCBs : 0.013~9.8 pg/g (中央値 0.030 pg/g)、PCNs : 0.054~2.9 pg/g (中央値 0.16 pg/g)、PBDFs : 1.8~87 pg/g (中央値 28 pg/g) であった (2,3,7,8 置換体 PBDDs は検出されていない : Suzuki et al, 2006a)。中央値ベースの濃度順位は PBDFs > PCDDs > PCDFs > non-ortho Co-PCBs > PCNs > mono-ortho Co-PCBs の順であり、寄与割合は PBDFs : 17%、PCDDs : 14%、PCDFs : 8.8%、non-ortho Co-PCBs : 0.98%、PCNs : 0.10% 及び mono-ortho Co-PCBs : 0.019% であり、PBDFs の寄与が最も高かった。

本研究の結果は、国際的に規制されている PCDD/Fs 及び Co-PCBs のようなダイオキシン類ではなく (van den Berg et al, 2006)、規制対象となっていない PBDFs が、室内ダスト中で最も重要なダイオキシン類縁化合物であることを示した。WHO-IPCS は、ダイオキシン類以外のダイオキシン類縁化合物の曝露実態について知見を収集しており、室内ダストが小児にとって重要な曝露媒体となることを考慮して (Butte et al, 2002)、本研究の結果をその関連知見としてここに提示したい。

5. 室内ダスト中の未同定ダイオキシン類縁化合物について

本研究の結果から、室内ダストには未同定のダイオキシン類縁化合物が存在すると考えられ、中央値ベースでその寄与割合を推定すると 57%に達し、活性の半分強を未だ説明できていない。主要な未同定のダイオキシン類縁化合物は、本研究の DR-CALUX アッセイ/化学分画/化学分析統合手法から、2 環のハロゲン化芳香族化合物である可能性が高い。候補となるダイオキシン類縁化合物としては、既にダイオキシン様活性を示すことが報告されているミックスハロゲン化ダイオキシン類 (PXDD/Fs、X=Cl、Br)、ポリ臭素化ビフェニル (PBBs)、2,3,7,8 非置換体 PBDD/Fs 等が挙げられる (Behnisch et al, 2003 ; Olsman et

al, 2007)。また、本研究でも対象とした PCDD/Fs、PCBs、PCNs 及び PBDD/Fs の中の *in vitro* 試験評価が実施されていない化学物質や、化学物質標準品が存在しない化学物質が活性に関連している可能性もある。

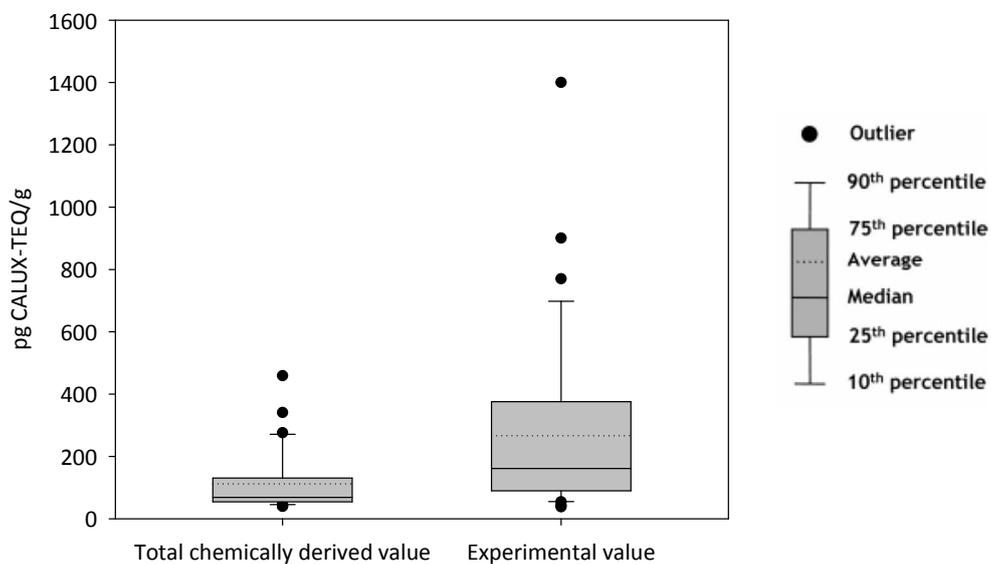


図 2 室内ダスト ($n=33$) の化学分析値 (PCDD、PCDF、Co-PCB、PCN 及び PBDF) 由来のダイオキシン様活性値 (Chemically derived CALUX-TEQ) 及び DR-CALUX アッセイで測定したダイオキシン様活性値 (Experimental CALUX-TEQ)

1-3 ヒト皮膚モデルを用いたハウスダストの毒性評価

分担研究者 滝上英孝 (独) 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター

A 研究目的

動物を用いる皮膚刺激性試験の代替法として 3 次元培養系の皮膚モデルが用いられるようになっており、特に化粧品原料の評価に必要性が見出されている。3 次元培養系の皮膚モデルは腐食・皮膚刺激性の評価スキームとして 1998 年に OECD から発表されており (OECD, 1998)、2009 年までに動物実験を用いた化粧品を販売できない、また、原料の試験を実施できないという EU7 次改正に従うために欧州化粧品工業会で検討が進められた結果、欧米で積極的に開発が進められたものである。皮膚モデルは、角化細胞と比較して、角質層の厚さや角化細胞数など、生体細胞に比べると構造的に差異も大きい、各社で開発されているモデルに大差はないとされている(小島, 2007)。よって、正常皮膚と比較して経皮吸収も早く、毒性が鋭敏に検出できるようである(小島, 2007)。我々はこの皮膚モデルを家庭系有害化学物質のシンクとしての媒体であるハウスダスト試料に適用し、細胞に対する毒性ポテンシャル (細胞毒性)、炎症性メディエーター等の放出量について調べた。

B 研究方法

1. 3 次元培養系皮膚モデルを用いた細胞毒性の測定

3 次元培養系の皮膚モデルとしては EPI-200 キット (正常ヒト表皮角化細胞, 販売元クラボウ) を用いた (図 1)。このモデルはヒト皮膚表皮構造に類似し、表皮基本構造の基底層から顆粒層、有棘層、角層に多層化し分化した 3 次元構造を有する。新生児包皮由来の正常ヒト表皮角化細胞 (単一ドナー細胞) から無血清培地にて培養・構築したものである (皮膚直径 8mm)。

EPI-200 は納品後 48 時間以内に使用した。MTT 法は、生細胞において 3-(4,5-di-methylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) が紫色のホルマゼンへ還元される反応を用いた細胞毒性の測定方法であり、生細胞に MTT を添加し、得られた着色溶液の波長 (通常 500 - 600 nm の間) の吸光度を分光光度計で測定することで定量化を行った。

2. 炎症性メディエーター (マーカー) の測定

細胞に試料を曝露した後に毒性を評価する指標としては、上述の MTT 法による細胞毒性の他に炎症性メディエーターの遊離が使われている。そこで末梢皮膚組織において生成される炎症性メディエーターとしてインターロイキンやプロスタグランジンに着目し、4 種類のマーカー物質 (炎症性サイトカイン (IL-1 α 、IL-8、TNF- α) とアラキドン酸カスケードの代謝物である PGE₂) について各々、市販の ELISA キットを用いて、ヒト皮膚モデル

の曝露時にアッセイ培地に浸出したマーカー物質を測定した。

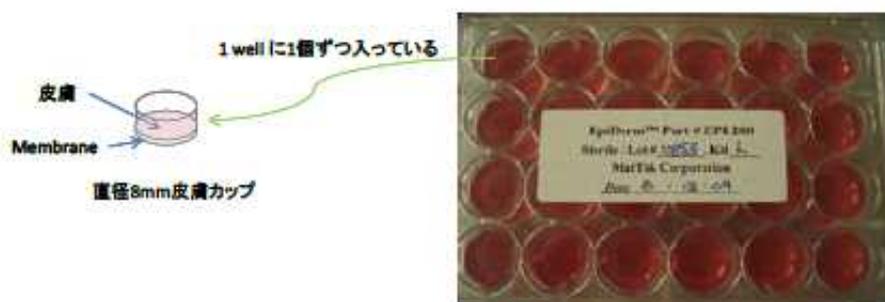


図1 用いた3次元皮膚モデル (EPI-200キット)

3. 使用したハウスダスト試料

2009年6月～9月にかけて関東地方の一般家庭5軒の協力を得て、各家庭で通常使用されている掃除機に蓄積されていたゴミ全量を試料として採取した (HD-01, -02, -03, -04, -05)。採取試料は、まず、各試料から毛髪や小石、木片、紙屑等の夾雑物をピンセットで可能な限り除去した。異物除去後のハウスダスト試料は総重量を測定した後、電磁式ふるい振とう機 (PRO型、FRITSCH社製) に搭載した2mm、1mm、500 μ m、250 μ m、106 μ m、53 μ mの開き目のステンレス製試験ふるい (JIS Z-8801) を通して、全量を「>2000 μ m」、「1000～2000 μ m」、「500～1000 μ m」、「250～500 μ m」、「106～250 μ m」、「53～106 μ m」、「<53 μ m」の7粒径に分画した (試験には細かい方から5粒径の分画試料を使用した)。

C 研究結果と考察

1. ヒト皮膚モデル試験のバリデーション

まず、ヒト皮膚モデルの陰性及び陽性対象試料 (それぞれ純水及びSLS) に対するロット内 (購入したキットのロット内、 $n=3$) における再現性を細胞毒性や炎症性メディエーターに関して調べた。その結果、全ての測定項目で概ね良好な再現性 (CVが10-20%の範囲内、最大で30%程度) が得られていることが確認できた。このことを踏まえて、ハウスダスト分級有姿試料の曝露試験の実施を行うこととした。

2. ハウスダスト分級有姿試料の毒性評価

ハウスダスト分級有姿試料の試験結果について、図2に細胞毒性、図3～6に炎症性メディエーター放出量のデータを示す。同時に実施した陽性対照 (SLS 1%) のデータも併記している。

MTT法による細胞毒性はほとんどのハウスダスト分級試料で観察された (図2)。特に<53 μ mの最も細かい分級試料 ($n=5$) では54-75% (陰性対照比) の細胞生存率であり、

粒径別試料の中では強めの毒性を示した。

炎症性メディエーター放出量は、IL-1 α が陰性対照比で有意に高く（桁違いに高い場合があり）、< 53 μm の分級試料で高くなる傾向を示した（図4）。この傾向は陽性対照であるSLSと類似していた。一方で有意なIL-1 α の放出が認められるSLSと比較してですら、より高い濃度が検出される試料があった。

TNF- α についても、IL-1 α と同様に一部のハウスダスト分級試料で値が桁違いに高くなり、同一のハウスダスト試料でも分級粒径によって測定値が異なった（図6）。

IL-8とPGE₂に関して、多くのダスト分級試料で、陰性対照よりやや高濃度（高々倍量程度）の放出が確認された（図3、5）。言い換えれば、これらのマーカーについては、ハウスダスト分級試料と陰性対照間で大きな差が認められなかった。陽性対照であるSLSの曝露により、IL-8とPGE₂の放出量が著しく抑制されることを踏まえれば、SLSとダスト分級試料の間では影響メカニズムが異なっているといえる。

上記のことをまとめれば、炎症性メディエーターのうち、IL-1 α とTNF- α については、一部のハウスダスト分級試料で放出が大きく促進され、同一（採取家庭が同一）のハウスダスト試料でも分級粒径によって測定値が著しく異なった。測定値が高くなる分級試料は2つのメディエーター間で共通性があり、原因物質がダスト中に偏在していることが推測された。IL-8とPGE₂に関しては、ハウスダスト試料の曝露による著しい放出抑制は観察されず、若干の放出促進の観察される試料が多くみられた。

D 結論

本研究では、3次元培養系の皮膚モデルを用いてハウスダスト試料の有姿試料を直接、細胞表面に曝露し細胞毒性や炎症性メディエーターの放出量についての基礎知見を得た。ハウスダストによる感作作用（アレルギー免疫毒性）は、皮膚の末梢組織のみならず、他の臓器も関与した慢性的な曝露の結果、発現するものと考えられる。3次元培養系の皮膚モデルで得られた知見の一般性（他の皮膚モデルや動物皮膚細胞）を考察しつつ、今後 *in vitro* の皮膚接触毒性試験の最適化を図る必要がある。

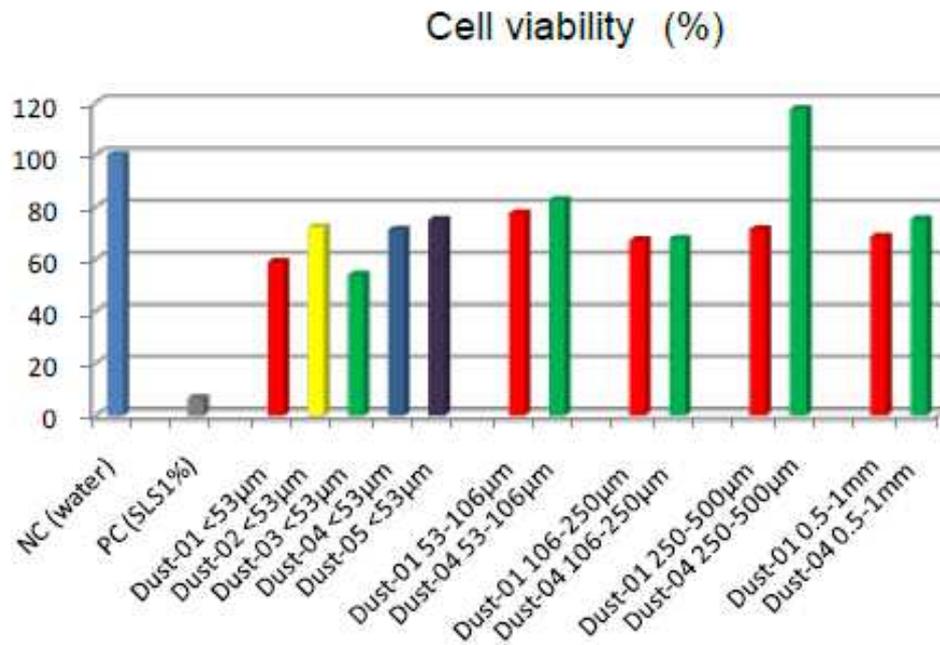


図 2 ハウスダスト分級試料による試験結果 (細胞毒性)

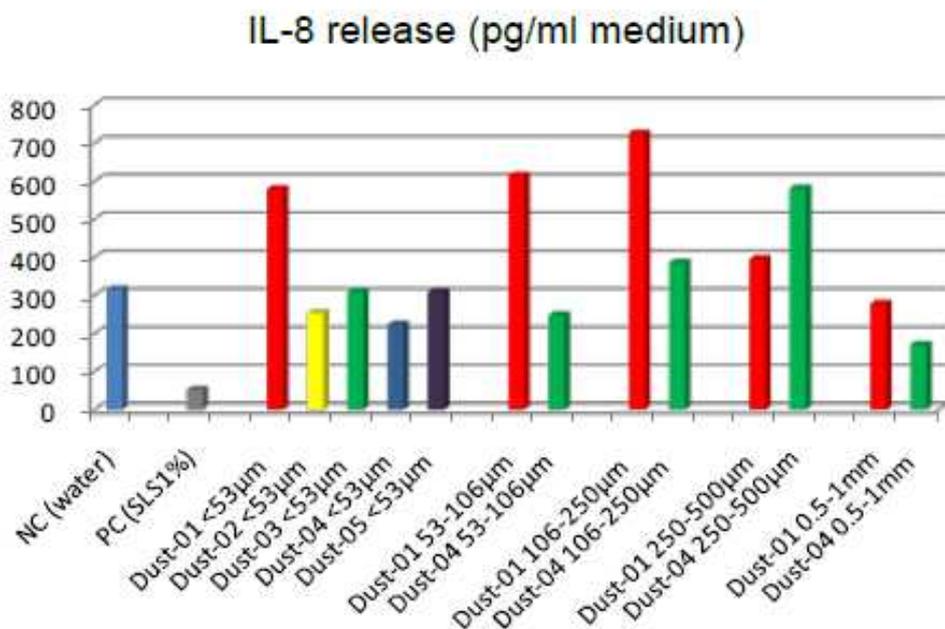


図 3 ハウスダスト分級試料による試験結果 (IL-8 放出量)

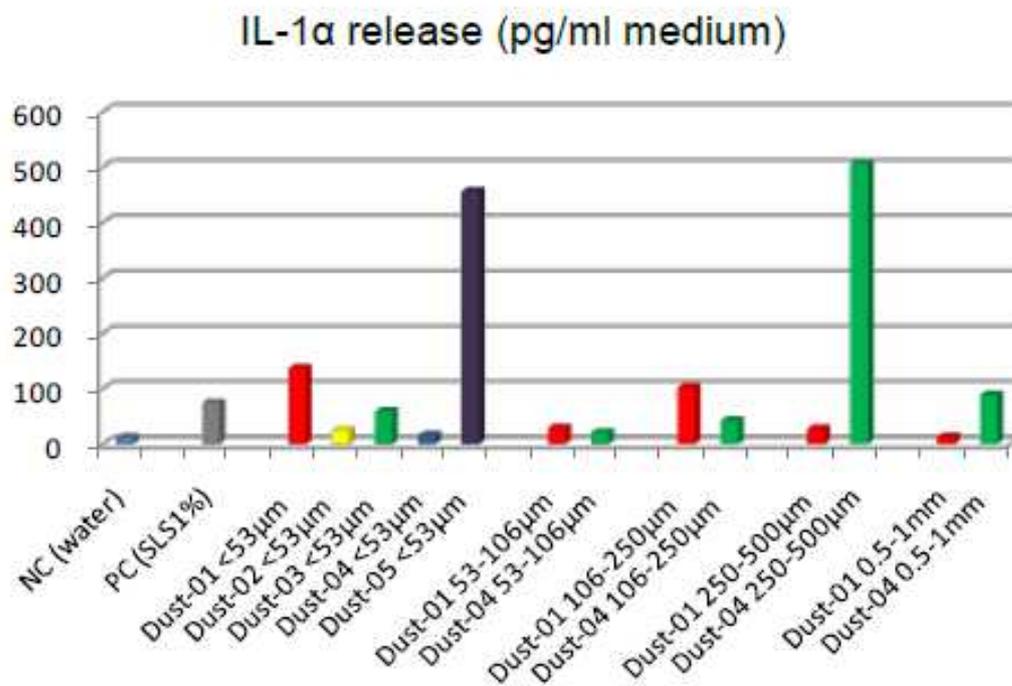


図4 ハウスダスト分級試料による試験結果 (IL-1 α 放出量)

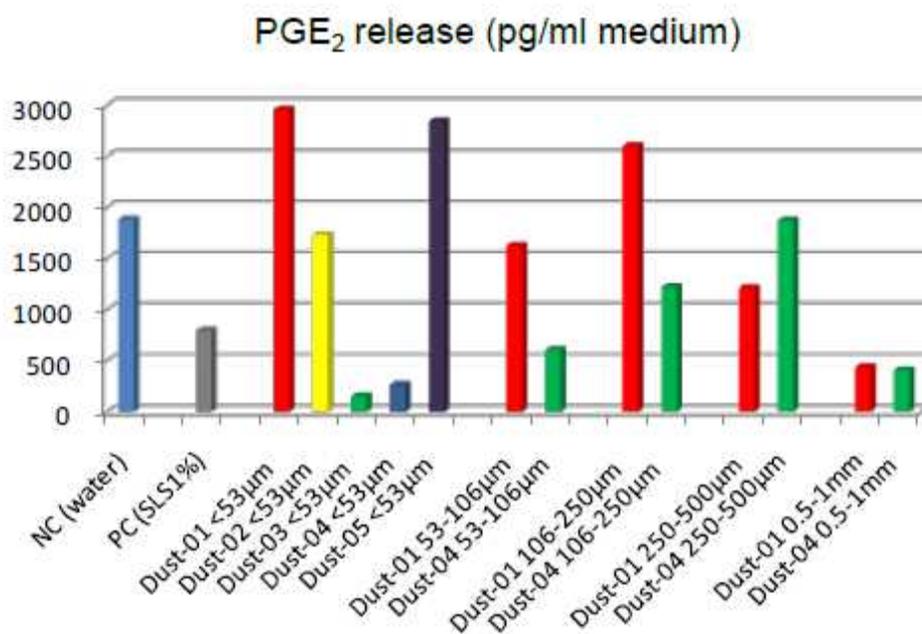


図5 ハウスダスト分級試料による試験結果 (PGE₂ 放出量)

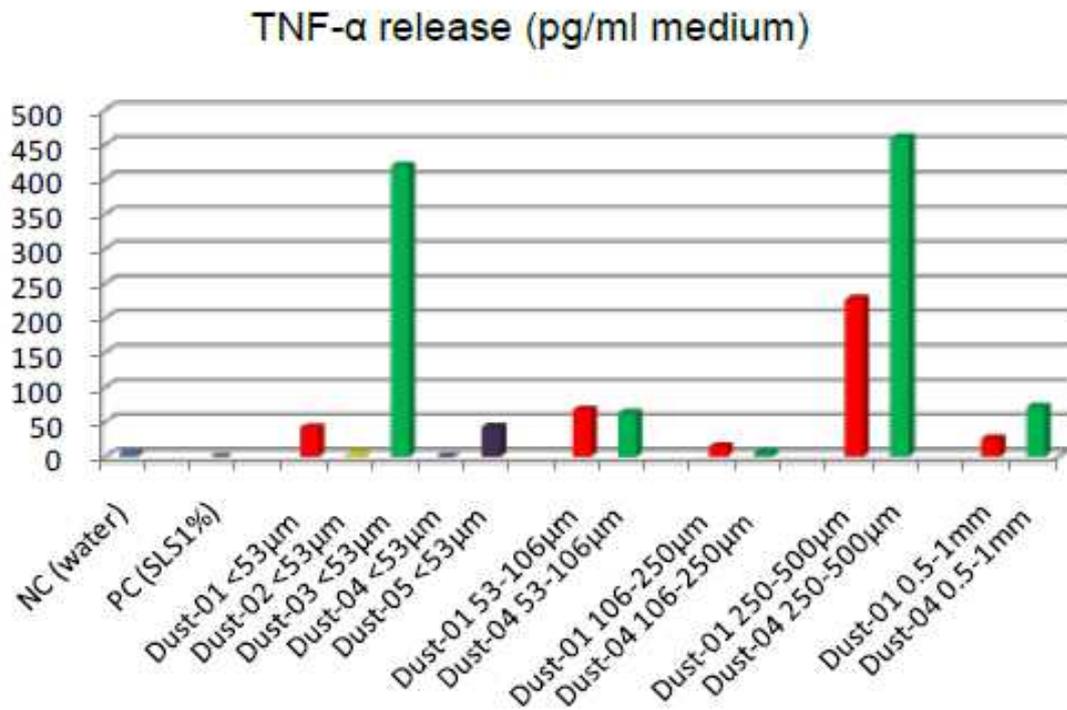


図6 ハウスダスト分級試料による試験結果 (TNF- α 放出量)

参考文献

- Behnisch, P.A.; Hosoe, K.; Sakai, S. Brominated dioxin-like compounds: in vitro assessment in comparison to classical dioxin-like compounds and other polyaromatic compounds. *Environ. Int.* 2003, 29, 861-877.
- Butte, W.; Heinzow, B. Pollutants in house dust as indicators of indoor contamination. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2002, 175, 1-46.
- Jones-Otazo, H. A.; Clarke, J. P.; Diamond, M. L.; Archbold, J.A.; Ferguson, G.; Harner, T.; Richardson, G. M.; Ryan, J. J.; Wilford, B. Is house dust the missing exposure pathway for PBDEs? An analysis of the urban fate and human exposure to PBDEs. *Environ. Sci. Technol.* 2005, 39, 5121-5130.

Mandalakis, M.; Atsarou, V.; Stephanou, E. G. Airborne PBDEs in specialized occupational settings, houses and outdoor urban areas in Greece. *Environ. Pollut.* 2008, 155, 375-382.

OECD. Revised proposal for the harmonization of hazard classification based on skin irritation/corrosion, ENV/MC/CHEM/HCL (98) 4, 1998, pp. 12, Paris: OECD

Olsman, H.; Engwall, M.; Kammann, U.; Klempt, M.; Otte, J.; Bavel, B.; Hollert, H. Relative differences in aryl hydrocarbon receptor-mediated response for 18 polybrominated and mixed halogenated dibenzo-p-dioxins and -furans in cell lines from four different species. *Environ. Toxicol. Chem.* 2007, 26, 2448-2454.

Stapleton, H. M.; Dodder, N. G.; Offenberg, J. H.; Schantz, M. M.; Wise, S. A. Polybrominated diphenyl ethers in house dust and clothes dryer lint. *Environ Sci. Technol.* 2005, 39, 925-931.

Suzuki, G.; Nose, K.; Takigami, H.; Takahashi, S.; Sakai, S.-I. PBDEs and PBDD/Fs in house and office dust from Japan. *Organohalogen Compd.* 2006a, 68, 1843-1846.

Suzuki, G.; Takigami, H.; Kushi, Y.; Sakai, S. Evaluation of mixture effects in a crude extract of compost using the CALUX bioassay and HPLC fractionation. *Environ. Int.* 2004, 30, 1055-1066.

Suzuki, G.; Takigami, H.; Kushi, Y.; Sakai, S. Time-course changes of mixture effects on AhR binding-dependent luciferase activity in a crude extract from a compost sample. *Toxicol. Lett.* 2006b, 161, 174-187.

Suzuki, G.; Takigami, H.; Nose, K.; Takahashi, S.; Asari, M.; Sakai, S.-I. Dioxin-like and transthyretin-binding compounds in indoor dusts collected from Japan: average daily dose and possible implications for children. *Environ. Sci. Technol.* 2007, 41, 1487-1493.

Suzuki, G.; Takigami, H.; Watanabe, M.; Takahashi, S.; Nose, K.; Asari, M.; Sakai, S.-I. Identification of brominated and chlorinated phenols as potential thyroid-disrupting compounds in indoor dusts. *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 1794-1800.

Takigami, H.; Suzuki, G.; Hirai, Y.; Ishikawa, Y.; Sunami, M.; Sakai, S.-I. Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan. *Environ. Int.* 2009b, 35, 688-693.

Takigami, H.; Suzuki, G.; Hirai, Y.; Sakai, S.-I. Comparison of brominated flame

retardants and other polyhalogenated compounds in indoor air and dust from two houses in Japan. *Chemosphere* 2009a, 76, 270-277.

Takigami, H.; Suzuki, G.; Hirai, Y.; Sakai, S.-I.. Transfer of brominated flame retardants from components into dust inside television cabinets. *Chemosphere* 2008, 73, 161-169.

Tanabe, S.; Watanabe, M.; Minh, T.B.; Kunisue, T.; Nakanishi, S.; Ono, H.; Tanaka, H. PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs in albatross from the North Pacific and Southern Oceans: Levels, patterns, and toxicological implications. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 403-413.

van den Berg, M.; Birnbaum, L.S.; Denison, M.; De Vito, M.; Farland, W.; Feeley, M.; Fiedler, H.; Hakansson, H.; Hanberg, A.; Haws, L.; Rose, M.; Safe, S.; Schrenk, D.; Tohyama, C.; Tritscher, A.; Tuomisto, J.; Tysklind, M.; Walker, N.; Peterson, R.E.. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicol. Sci.* 2006, 93, 223-241.

Wenning, R. J. Uncertainties and data needs in risk assessment of three commercial polybrominated diphenyl ethers: probabilistic exposure analysis and comparison with European Commission results. *Chemosphere* 2002, 46, 779-796.

小島肇夫、皮膚腐食性試験について、最新動物実験代替法～日米欧関連法規への対応／各種試験の手順～、技術情報協会、pp.297、2007

第3章 室内環境の残留性化学物質に関する影響スクリーニング

分担研究者 高野裕久（京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻）、
小池英子（独立行政法人国立環境研究所環境健康研究センター）

A. 研究の背景と目的

1. 研究の背景

廃棄物リサイクルが、近年、世界的に進み、廃棄物関連の化学物質等を管理するシステムの検討や確立が望まれている。家電や自動車など、一般的な製品に対する個別のリサイクル制度や焼却・埋め立てといった廃棄物管理については、特に、フロー管理や施設整備等が進展している。その一方、対処すべき重要課題として、家庭系有害廃棄物 (Household Hazardous Waste, HHW) 管理の問題が残されたままとなっている。

HHW の代表例としては、①揮発性有機物質や残留性有機汚染物質を含む殺虫剤やスプレー缶、等、②重金属類やレアメタルに関連する電池や基板を含む小型電気電子機器や蛍光管、等、③難燃剤成分を含む電気機器や繊維製品等々があげられる。HHW 関連の化学物質は莫大であり、室内ダストとして、また、循環廃棄関連ダストとしても存在しうることから、経気道的、あるいは、経皮的に人間に曝露される可能性が充分にある。しかし、これらのダストやそれに由来する化学物質の環境動態や物理的、化学的、生物学的キャラクターゼーションとともに、曝露評価、影響評価に関する取組みはほとんど進展していない。

一方、環境汚染物質や環境化学物質は、HHW 以外にも多々存在し、それらの健康影響が危惧されてきた。われわれは、例えば、粒子状の大気汚染物質であるディーゼル排気微粒子 (DEP) がアレルギー性気管支喘息を増悪することを明らかにした(1,2)。その後、DEP に含まれる脂溶性化学物質成分やプラスチックの可塑剤として汎用されているフタル酸エステル等の環境化学物質が、アレルギー性気管支喘息やアトピー性皮膚炎を増悪することも報告した(3-6)。また、フタル酸ジエチルヘキシルは、肝毒性を指標に決定された No Adverse Effect Level の千分の一に近い少量や、若齢期の曝露のみならず乳児期の経母体曝露によってもアレルギー増悪影響を発揮することさえ報告した(5,7)。このように、アレルギー疾患の増悪という影響指標は、環境汚染 (化学) 物質に対し、高い感受性を有すると考えられ、影響評価として重要であることが明らかとなっている。その後、われわれは、マウスの免疫担当細胞 (免疫・アレルギー反応において重要な役割を演じている細胞群)、特に、リンパ球や抗原提示細胞など複数の免疫担当細胞が存在する脾細胞や主要な抗原提示細胞である樹状細胞を用いて、環境化学物質のアレルギー増悪影響を *in vitro* で評価し、フタル酸エステルの *in vitro* 曝露がこれらの免疫担当細胞を活性化することを見出した(6,8)。この *in vitro* 影響評価系は *in vivo* に比べて、簡

易・迅速であり、多くの物質への適用が容易である。われわれは、複数の環境化学物質を対象に研究を進め、この *in vitro* 影響評価系が、*in vivo* におけるアレルギー疾患の増悪をよく反映することも明らかにした。

近年、HHW 関連の代表的環境化学物質である臭素系難燃剤 (BFRs) が、内分泌系を攪乱する可能性が指摘されている(9-11)。しかし、これらの物質が免疫応答に及ぼす影響についての報告は少ない。そこで、本研究課題では、HHW の影響評価の取りかかりとして、HHW に由来する環境化学物質が高感受性を示すと考えられる免疫・アレルギー関連疾患に及ぼす影響を評価することを目的とし、代表的な BFRs であるポリブロモジフェニルエーテル (PBDEs) 製剤 3 種類とヘキサブロモシクロドデカン (HBCD) 製剤、テトラブロモビスフェノール A (TBBPA) 製剤の 5 物質を評価対象として研究を進めることとした。

BFRs は、家電機器や繊維製品をはじめとする多くの生活用品に広範に使用されているため(9)、一般環境においても、経皮的、経気道的に曝露される可能性が高いことが容易に想像される。また、生活用品が日常的に使用される生活環境では、ハウスダスト中のダニをはじめとするアレルゲンが広く存在するため、BFRs とアレルゲンの複合的曝露は、日常生活の中でも、容易におこりうる現象とも考えやすい。特に、ダニやハウスダストは、気管支喘息やアトピー性皮膚炎、アレルギー性鼻炎等、ありふれたアレルギー疾患において、もっとも一般的な原因となるアレルゲン (major allergen) である。

今回対象とした BFRs について、簡略に、その特徴を述べる。PBDEs は、ポリブロモジフェニルよりも毒性が低く、家電製品や建材、繊維などに使用されている。製剤として、ペンタ BDE、オクタ BDE、デカ BDE が知られているが、世界的に最も使用されているのはデカ BDE 製剤である。PBDEs は、添加型の難燃剤であり、製品から環境中に放出される可能性がある。また、PCB やダイオキシンと類似した構造を持ち、脂溶性が高く蓄積性があるため、生物濃縮を引き起こす可能性が高いことなどから、その健康影響が懸念されている。PBDEs は、急性毒性は低いと考えられているが、慢性曝露では、腎臓と甲状腺に影響を与えることが報告されている。発生、神経毒性や内分泌攪乱作用を持つ可能性も指摘されている。PBDEs は、類似した毒性を示すが、一般的に、デカ BDE は他の低臭素物質に比べて毒性は低いことも報告されている。

HBCD は、TBBPA、PBDEs に次いで、適用の広い難燃剤であり、主にポリスチレン発泡断熱材や繊維、電子機器に使用されており、使用は近年増加している。HBCD は、PBDEs と同様に、添加型の難燃剤であり、製品から環境中に放出される可能性がある。脂溶性が高く、蓄積性があることから、健康影響が懸念されている。その発達毒性や内分泌攪乱作用を示唆する報告もあるが、HBCD の健康影響に関する研究は未だ不十分であり、結論は得られていない。

TBBPA は、現在、世界で最も多く生産、使用されている難燃剤であり、ABS、エポキシ、ポリカーボネート、耐衝撃性ポリスチレン、フェノール樹脂、接着剤等に使用されている。TBBPA は、反応性の難燃剤として化学的に結合させて使用する場合と、添

加型の難燃剤として使用する場合がある。前者の場合は、製品から環境中への移行はほとんどないが、後者の場合は、PBDEs および HBCD と同様に環境中に放出される可能性がある。TBBPA は、脂溶性が高いが、生体内では代謝されて多くが排泄されることから、蓄積性の可能性はほとんど無いものと考えられている。これまでの報告では、TBBPA は、非刺激性で、急性毒性は低く、長期的な摂取をしても影響は認められていない。しかし、*in vitro* の報告では、細胞毒性、免疫毒性、甲状腺ホルモン作動性、内分泌攪乱作用の存在も示唆されている。

2. 研究の目的

BFRs は、物質によって、化学的な特性や健康影響が異なる可能性があることが示されている。しかし、総じて、免疫・アレルギーに関連する疾患、あるいは、経気道曝露の影響を最初に受けやすいと考えられる呼吸器系に与える影響については、ほとんど検討が行われていない。そこで、本研究課題では、アトピー素因を有するマウスの免疫担当細胞および BFRs と呼吸器との最初の物理化学的接点である気道上皮細胞に及ぼす影響について、細胞毒性や活性化マーカー分子を指標として、検討を行った。初年度は、BFRs が免疫担当細胞（脾細胞と骨髄由来樹状細胞）に及ぼす影響について検討することを目的とした。2年度は、BFRs 曝露が気道上皮細胞に及ぼす影響を、その毒性や活性化に関わる分子の変動を含めて検討することを目的とした。そして、最終年度は、BFRs が樹状細胞の分化・成熟過程に与える影響や、免疫担当細胞および気道上皮細胞に対する影響の内在メカニズムについて検討を進めることを目的とした。

B. 研究方法

1. BFRs の調製

3 種類の PBDEs 製剤 (DE-71 [Pentabromodiphenyl oxide], DE-79 [Octabromodiphenyl oxide], DE-83R [Dcabromodiphenyl oxide]; ; Wellington Laboratories Inc., Ontario, Canada) と、HBCD 製剤 ([1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecan]; Sigma-Aldrich Co. St. Louis, MO)、TBBPA 製剤 ([4,4'-(1-methylethylidene)bis2,6-(dibromophenol)]; Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Tokyo, Japan) の 5 物質を検討対象とした。これらの BFRs の化学構造式を、図 1 に示した。各 BFRs は、ジメチルスルフォキシド (DMSO) に溶解した後、DMSO の最終濃度が 0.1% となるように培地で希釈し、実験に使用した。曝露時の最高濃度は、難溶解性の DE-83R のみ 6 µg/ml とし、その他は 10 µg/ml とした。

2. 動物

動物は、アトピー素因を有する NC/NgaTndCrlj 雄性マウス (10-13 週齢) を使用した。SPF [specific pathogen free] のマウスを日本チャールスリバー (Yokohama, Japan) より購入し、実験まで通常の餌 CE-2 (CE-2; CLEA Japan Inc., Tokyo, Japan) と滅菌水を与えて飼育した。全ての動物実験は、米国 NIH のガイドラインを遵守して行い、当該施設の担当委員会の承認の基に遂行した。また、動物数はできる限り最小限にとどめた。

3. 免疫担当細胞の調製と BFRs の曝露

免疫担当細胞は、リンパ球を主体として、複数の免疫担当細胞より構成される脾細胞と免疫・アレルギー反応の起点を担う抗原提示細胞の代表とも言える骨髄由来樹状細胞 (bone marrow-derived dendritic cells: BMDC) を用いた。マウスは、ペントバルビタールナトリウム (Dainippon Pharmaceutical Co., Osaka, Japan) の腹腔内注射 (100 mg/Kg 体重) により麻酔し、脱血した後、脾臓および大腿骨を摘出した。脾臓は、滅菌したステンレスメッシュ上でつぶし、細胞懸濁液を調製した。大腿骨は、70% エタノールに 1 分間浸した後、PBS [Dulbecco's calcium and magnesium-free phosphate-buffered saline] (Takara Bio Inc., Shiga, Japan) で洗浄した。この大腿骨の両端をカットし、培地を注入して骨髄を押し出し、懸濁液を滅菌したナイロンメッシュに通して骨の破片等を除去した。脾細胞と骨髄細胞は、溶血処理した後、遠心洗浄し、培地に懸濁した。培地は、GIBCO® RPMI-1640 培地 (Invitrogen, Grand Island, NY) に 10% 非働化ウシ胎児血清 (FBS; MP Biomedicals Inc., Eschwege, Germany)、100 U/ml ペニシリン、100 µg/ml ストレプトマイシン (Sigma)、50 µM 2-メルカプトエタノール (Invitrogen) を添加した R10 培地を使用した。生細胞数は、トリパンブルー (Invitrogen) 色素排除法により求めた。BMDC は、骨髄細胞 (4×10^5 cells/ml) を、リコンビナントマウス顆粒球・マクロファージコロニー刺激因子 (granulocyte macrophage colony stimulating factor: GM-CSF; Sigma) を含む R10 培地中で 6 日または 8 日間培養することにより、分化誘導した。培養の間は、3 日目に

等量の培地を加え、8日間培養の場合は6日目に半量の培地を新しい培地と交換した。培養後、浮遊細胞と弱い接着細胞を未熟・成熟 BMDC として回収した。生細胞数は、トリパンブルー色素排除法により求めた。

脾細胞および BMDC (1×10^6 cells/ml) を、BFRs (0.001-10 $\mu\text{g/ml}$) またはコントロール (0.1% DMSO) に曝露した。脾細胞は、当該物質に24時間曝露した後、細胞増殖・生存能力と細胞表面分子の発現、培養上清中のサイトカインを測定した。また、脾細胞を、ヤケヒョウヒダニ (*Dermatophagoides pteronyssinus*: Dp) 抽出物 (Cosmo Bio LSL, Tokyo, Japan) の存在下で当該物質に72時間曝露した後、細胞増殖を測定した。GM-CSF (20 ng/ml) 存在下で8日間培養した BMDC は、GM-CSF (10 ng/ml) の存在下で当該物質に24時間曝露した後、細胞増殖・生存能力と細胞表面分子の発現、ケモカインの産生を測定した。BFRs が BMDC の分化誘導過程に及ぼす影響評価については、骨髓細胞に GM-CSF (10 ng/ml) を加え、BFRs (0.01-1 $\mu\text{g/ml}$) またはコントロール (0.1% DMSO) の存在下で6日間培養を行い、BMDC を誘導した後、細胞増殖・生存能と細胞表面分子の発現、サイトカインの産生を測定した。なお、細胞増殖・生存能力は WST-1 を用いた比色法により、細胞表面分子の発現はフローサイトメトリーにより、サイトカイン産生は ELISA 法により、ダニ抗原刺激による細胞増殖は BrdU の取り込み量を ELISA 法により解析した。

さらに、脾細胞および8日間、GM-CSF (20 ng/ml) 刺激により分化誘導した BMDC (1×10^6 cells/ml) は、BFRs またはコントロールに15、60分間曝露した後、シグナル伝達系の変化を解析した。

4. 気道上皮細胞と BFRs の曝露

正常ヒト気道上皮細胞株 BEAS-2B を使用し、LHC-9 培地を用いて培養した。BEAS-2B (7.5×10^4 /ml) は、コラーゲン I コートプレートに播種し、semi-confluent な状態まで培養した後、培地を除去し、化学物質 (0.01-10 $\mu\text{g/ml}$) またはコントロール (0.1% DMSO) を添加して24時間曝露した。曝露後、細胞生存・増殖能は WST-1 を用いた比色法により、細胞表面分子の発現はフローサイトメトリーにより、炎症反応に関与するサイトカイン等の液性因子の産生は ELISA 法により解析した。

また、別の実験系として、BEAS-2B (1×10^5 /ml) を、コラーゲン I コートプレートに播種し、semi-confluent な状態まで培養した後、培地を除去し、化学物質 (0.3-10 $\mu\text{g/ml}$) またはコントロールを添加した。BFRs の24時間曝露後、栄養因子を含まない LHC 基礎培地 (Invitrogen) に変換して3時間培養し、培養上清中の上皮成長因子 (EGF) 産生量を ELISA 法により測定した。一方、シグナル伝達系の変化については、BFRs またはコントロールに15、60分間曝露した後、フローサイトメトリーにより解析した。

5. 細胞増殖・生存能力の測定

脾細胞、BMDC、及び、BEAS-2B の細胞増殖・生存能力は、Premix WST-1 (Takara Bio,

Shiga, Japan) を添加して、30 分間反応させ、吸光度を測定することにより評価した。

6. フローサイトメトリー

脾細胞については、T 細胞マーカーとして TCR と CD3、リンパ球の活性化マーカーとして CD69、抗原提示細胞の活性化マーカーとして MHC class II と補助刺激分子の CD86 の発現を、BMDC については、BMDC の分化・成熟・活性化レベルの指標として、抗原提示に関わる細胞表面分子である MHC class II と補助刺激分子 (CD80、CD86)、樹状細胞活性化マーカー (CD11c、DEC205)、リンパ節への遊走に関わるケモカイトンレセプター (CCR7、CXCR4) の発現を、以下の蛍光標識抗抗体を用いて解析した。TCR β chain (H57-597, FITC 標識, BD Pharmingen™, Franklin Lakes, NJ); CD3 complex (17A2, PE 標識, BD Pharmingen™); CD69 (H1.2F3, PE 標識, BD Pharmingen™); MHC class II: I-A/I-E (2G9, FITC 標識, BD Pharmingen™); CD80 (16-10A1, PE 標識, BD Pharmingen™); CD86 (GL1, PE 標識, BD Pharmingen™); CD11c (HL3, PE 標識, BD Pharmingen™); DEC205 (NLDC-145, PE 標識, Miltenyi Biotech GmbH, Gladbach Germany); CCR7 (4B12, PE 標識, BioLegend, San Diego, CA), CXCR4 (2B11/CXCR4, PE 標識, BD Pharmingen™)。BEAS-2B については、0.25% Trypsin-EDTA の処理によりプレートから剥離して回収し、接着分子の intercellular adhesion molecule-1: ICAM-1 (CD54) を CD54 (HCD54, PE 標識, BioLegend, San Diego, CA) 抗体を用いて解析した。細胞は、FACS Buffer (0.3% ウシ血清アルブミンと 0.05% アジ化ナトリウムを含む PBS) に懸濁し、4°C、400×g、5 分間遠心洗浄した。各サンプルの細胞 (3-5×10⁵) は、100 μ l の FACS Buffer に懸濁させ、それぞれの蛍光標識抗体を加えて遮光し、氷上で 30 分間放置した。細胞は、遠心洗浄した後、FACS Buffer に再懸濁させ、蛍光をフローサイトメーター FACSCalibur (Becton, Dickinson and Company, NJ) により解析した。各サンプルにおいて、1 万個の細胞の蛍光データを取得し、陽性細胞率 (%) と発現量を示す平均蛍光強度 (mean fluorescent intensity, MFI) を指標に解析した。

また脾細胞および 8 日間の培養により分化誘導した BMDC におけるシグナル伝達系因子の変化は、Phosflow の製品プロトコールに従い、細胞の固定、細胞膜透過処理、リン酸化特異的抗体の反応の後、フローサイトメーターにより解析した。BEAS-2B におけるシグナル伝達系因子の解析には、細胞を 0.25% Trypsin-EDTA の処理によりプレートから剥離して回収した後、同様に解析した。使用した蛍光標識リン酸化特異的抗体 (BD Pharmingen™) は以下の通りである。p38 MAPK (pT180/pY182) (36/p38 (pT180/pY182), Alexa Fluor® 488 標識); ERK1/2 (pT202/pY204) (20A, PerCP-Cy™5.5 標識); Stat1 (pY701) (4a, PE 標識); Stat3 (pY705) (4/P-STAT3, Alexa Fluor® 647 標識); Stat5 (pY694) (47, Alexa Fluor® 647 標識); NF- κ B p65 (pS529) (K10-895.12.50, Alexa Fluor® 488 標識); Akt (pS473) (M89-61, PE 標識); EGF 受容体 (EGFR (pY845)) (12A3, Alexa Fluor® 647 標識)。EGF Receptor (pY845) については、BEAS-2B の実験でのみ検討した。各サンプルにおいて、1 万個の細胞の蛍光データを取得し、MFI を指標に解析した。

7. 液性因子の定量

脾細胞の培養上清中のインターフェロン(interferon: IFN)- γ とインターロイキン(interleukin: IL)-4、IL-17、IL-18およびBMDCの培養上清中のthymus- and activation-regulated chemokine (TARC)とmacrophage-derived chemokine (MDC)、IL-12p40の含有量を、マウスIFN- γ ELISA kit (Endogen, Cambridge, MA) とIL-4 ELISA kit (Amersham, Buckinghamshire, UK)、IL-17 (R&D Systems, Minneapolis, MN, USA)、IL-18 (MBL, Woburn, MA)、TARC ELISA kit (R&D Systems)、MDC ELISA kit (R&D Systems)、IL-12p40 ELISA kit (Endogen)を用いて、吸光度を測定することにより定量した。

BMDCの培養上清中のtTARCとMDC、IL-12p40の含有量を、Mouse TARC ELISA kit (R&D Systems, Minneapolis, MN, USA)、MDC ELISA kit (R&D Systems)、IL-12p40 ELISA kit (Endogen, Cambridge, MA)を用いて、吸光度を測定することにより定量した。

BEAS-2Bの培養上清中の interleukin (IL)-6、IL-8、可溶性ICAM-1 (sICAM-1)の含有量を、IL-6 ELISA kit、IL-8 ELISA kit (Pierce Biotechnology, Rockford, IL) とsICAM-1 ELISA kit (BenderMedSystems, Vienna, Austria) を用いて、EGF含有量を、Human EGF ELISA kit (R&D Systems) を用いて、吸光度を測定することにより定量した。

8. ダニ抗原刺激による脾細胞増殖の測定

ダニ抗原刺激による脾細胞増殖は、Cell-proliferation ELISA, BrdU (calorimetric) kit (Roche Molecular Biochemicals, Mannheim, Germany) を用いて、培養終了 20 時間前に BrdU を添加し、その取り込み量を吸光度で測定することにより評価した。

9. 統計解析

実験データは、n=3 で行った 1 回の実験の平均値 \pm SEM を代表例として示した。実験は 2 回または 3 回繰り返し行い、再現性を確認した。データは分散分析を行い、コントロールに対する各実験群間の差異は、Dunnett の多重比較検定を用いて解析し、 $p < 0.05$ を有意差とした。

C. 研究結果と考察

1. BFRs 曝露が脾細胞の生存率と活性化マーカー分子に及ぼす影響

初年度に、まず、BFRs の脾細胞に対する毒性影響を明らかにするため、脾細胞の細胞増殖・生存能力について検討した。その結果、DE-71 と TBBPA による変化はほとんど認められず、DE-79 と DE-83R は、最高濃度で、コントロールに比べて脾細胞の細胞増殖・生存能力を抑制する傾向がみられた。一方、HBCD は、最高濃度で、脾細胞の細胞増殖・生存能力をコントロールの 60%以下まで抑制した (図 2A)。これより、脾細胞

胞に対して、高濃度の HBCD は毒性影響を及ぼすが、それ以外の 4 物質の毒性影響は弱いものと考えられた。

次に、BFRs が脾細胞の活性化を修飾するか否かを明らかにするため、脾細胞の細胞表面分子の発現とサイトカイン産生について検討した。その結果、いずれの BFRs も、脾細胞中の抗原提示細胞の活性化マーカーである CD86 陽性細胞の割合と MHC class II の MFI 値を増加することが明らかとなった（図 3）。加えて、DE-71 は、T 細胞マーカーである TCR および CD3 陽性細胞の割合を増加し、HBCD と TBBPA は、TCR 陽性細胞の割合を増加した。一方、いずれの BFRs も CD69 の発現は増強しなかった。アレルギー反応に関わる Th2 サイトカインである IL-4 の産生は、いずれの BFRs 曝露においても顕著な増加が観察された（図 4）。しかし、その増加と BFRs の曝露濃度の反応パターンは、物質によって異なる傾向がみられた。また、Th1 サイトカインである IFN- γ は、検出限界以下であった。さらに、近年アレルギーへの寄与が示唆されている IL-17 と IL-18 についても検討したが、いずれも検出限界以下であった。

続いて、ダニ抗原である Dp の存在下で脾細胞増殖を検討した。その結果、DE-71 と DE-79、HBCD は、高濃度で、ダニ抗原刺激に誘導される脾細胞増殖を抑制したが、DE-79 と DE-83R は、わずかではあるが一部低濃度域で、細胞増殖を促進する作用が観察された。一方、TBBPA による変化は認められなかった。

これより、BFRs は物質によって反応性に違いはあるが、脾細胞の活性化を修飾する作用を持つことが示唆された。一般的に、PBDEs の中で、DE-83R は、DE-71 や DE-79 よりも毒性が低いとされているが、脾細胞に対する影響の明確な差異は認められなかった。また、高濃度の HBCD の毒性影響は有意であったが、その他の BFRs、特に TBBPA の毒性は弱い可能性が示唆された。

2. BFRs 曝露が BMDC の生存率と活性化マーカー分子に及ぼす影響

まず、BFRs の BMDC に対する毒性影響を明らかにするため、BMDC の細胞増殖・生存能力について検討した。その結果、いずれの BFRs も BMDC に対して毒性を示さず、高濃度の DE-71 と DE-79 については、むしろ BMDC の細胞数を増加する傾向がみられた（図 2B）。

次に、BFRs が BMDC の活性化を修飾するか否かを明らかにするため、BMDC の細胞表面分子の発現について検討した。その結果、DE-71 と DE-79、DE-83R、HBCD は、BMDC の活性化マーカーである DEC205 の陽性細胞の割合の増加と MHC class II あるいは DEC205、CD86 の MFI 値を増加した。TBBPA においては、MHC class II の MFI 値を増加する傾向がみられたが、BMDC に対する修飾作用は弱い可能性が示唆された。また、DE-83R と HBCD に曝露した BMDC は、Th2 反応に関わるケモカインである TARC と MDC の産生を増加または増加する傾向がみられた（図 5）。DE-79 曝露は、BMDC の TARC と MDC の産生を低下し、DE71 と TBBPA 曝露は、BMDC のケモカイン産生に影響を与えなかった。一方、Th1 反応に関わる IL-12p40 は、いずれの BMDC の培養

上清からも検出されなかった。

初年度に行った BFRs が免疫担当細胞に及ぼす影響を表 1, 2 にまとめた。初年度の成果より、BMDC に比較し、脾細胞では、高濃度の BFRs、特に HBCD により生存率の低下が観察されたことや、脾細胞の活性化を示す細胞表面分子の発現の増加や Th2 サイトカイン産生の増加が観察されたことから、リンパ球を主体とする脾細胞と BMDC 等の抗原提示細胞単独の BFRs に対する応答性は異なる可能性が示唆された。

3. BFRs 存在下での分化誘導が BMDC の生存率と活性化マーカー分子に及ぼす影響

一方、BFRs が BMDC の分化誘導の過程を修飾する可能性も考えられることから、BFRs の存在下で骨髄細胞を 6 日間培養し、その影響を検討した。細胞生存・増殖能に及ぼす影響について検討した、どの BFRs も BMDC に対しては細胞毒性を示さず、むしろ 1 µg/ml の HBCD は、細胞増殖を促進する傾向がみられた。

DE-71、DE-79、DE-83R、HBCD の存在下で分化・誘導した BMDC は、抗原提示に関わる MHC class II や CD86、活性化マーカーである DEC205 の MFI 値が増加した。また、HBCD は、MHC class II、CD86、CD80、CD11c や DEC205 陽性細胞率を増加させた。一方、影響のパターンや有意差の有無は各化学物質によって異なっていたが、総じて、5 種類の BFRs の曝露は、BMDC の所属リンパ節への遊走に重要な役割を果たすケモカインレセプターの CCR7 や CXCR4 の陽性率を上昇させた (図 6)。しかし、分化・成熟に関連する Th2 ケモカインの TARC や MDC の産生に対しては、BFRs 曝露による明確な影響は観察されなかった。また、Th1 サイトカインの IL-12p40 は検出限界以下であった。

最終年度に行った BFRs 存在下での培養が BMDC の分化・成熟に及ぼす影響を表 3 にまとめた。BFRs は BMDC の分化誘導過程に影響を与える可能性が示唆された。

4. BFRs 曝露が気道上皮細胞の生存率と活性化マーカー分子に及ぼす影響

BFRs の曝露が気道上皮細胞 (BEAS-2B) の細胞生存・増殖能に及ぼす影響について検討した (図 7)。その結果、どの BFRs も 1 µg/ml までは細胞毒性を示さなかったが 10 µg/ml の HBCD と 3, 10 µg/ml の TBBPA は、BEAS-2B の生存率を低下させた。一方、0.01-1 µg/ml の TBBPA と 3, 10 µg/ml の DE-71 は、コントロールに比べて BEAS-2B の増殖を促進する傾向が観察された。これより、HBCD と TBBPA は気道上皮細胞に対して毒性を示す可能性があるが、PBDEs の毒性作用は乏しいものと考えられた。

次に、BFRs の曝露が BEAS-2B の ICAM-1 の発現に及ぼす影響について検討した。ICAM-1 は、細胞表面に発現し、炎症細胞との接着に関与する糖蛋白である。ICAM-1 は、BEAS-2B に恒常的に発現しており、いずれの BFRs もその陽性細胞の割合に影響を及ぼさなかったが、その発現強度は、DE-83R を除く 4 種類の BFRs の曝露で、コントロールに対して有意に増加した (図 8)。ただし、10 µg/ml の TBBPA については、コントロールに対して、ICAM-1 の発現強度を有意に低下した。また、BFRs の曝露が

BEAS-2B の sICAM-1 の産生に及ぼす影響について検討した。sICAM-1 は、膜結合型 ICAM-1 が細胞膜に極めて近い部分で切断されて形成される分子であり、これもまた炎症時に増加することが知られている。BEAS-2B の sICAM-1 産生は、1 µg/ml の HBCD と 0.1-10 µg/ml の TBBPA の曝露により有意に増加し、その他の PBDEs は、それを増加する傾向を示したものの、有意な変化は認められなかった (図 8)。

次に、BFRs の曝露が BEAS-2B の IL-6 と IL-8 の産生に及ぼす影響について検討した。IL-6 と IL-8 は、種々の刺激により産生が誘導され、免疫・炎症性疾患の発症メカニズムに関与していることが知られている炎症性サイトカインである。DE-71 と DE-79、HBCD は、コントロールに対して BEAS-2B の IL-6 および IL-8 産生を有意に増加すること、TBBPA は、コントロールに対して BEAS-2B の IL-6 産生を有意に増加し、IL-8 産生を有意に抑制することを明らかにした (図 9, 10)。一方、DE-83R は BEAS-2B のこれらの炎症性サイトカインの産生に顕著な影響を及ぼさなかった。この他に、炎症・免疫疾患に関わる tumor necrosis factor- α や macrophage inflammatory protein-3 α 、thymic stromal lymphopoietin、IL-13、IL-18、IL-33 等の産生についても検討したが、いずれも顕著な変化は認められなかった。

二年度に行った BFRs が BEAS-2B に及ぼす影響を表 4 にまとめた。一般に、PBDEs の中で DE-83R は、DE-71 や DE-79 よりも毒性が低いとされているが、今回検討した BEAS-2B の細胞生存・増殖能および炎症に関わる分子の発現や液性因子の産生においても、DE-83R による影響は弱い傾向が観察された。また、我々は、免疫担当細胞の毒性や活性化に対して TBBPA の影響が弱いことを初年度に報告したが、BEAS-2B を用いた検討では、TBBPA による影響が観察されたことから、細胞の種類によって反応性が異なることも示唆された (表 1-表 4)。

2 年度の成果より、ある種の BFRs は、気道上皮細胞の毒性や炎症反応に関わる因子の発現を修飾することが明らかとなり、特に、気道上皮細胞の ICAM-1 の発現や IL-6、IL-8、sICAM-1 の産生は、影響評価におけるバイオマーカー候補として有力である可能性が示唆された。

5. BFRs 曝露が気道上皮細胞の成長因子の産生に及ぼす影響

BFRs の曝露が BEAS-2B の EGF 産生に及ぼす影響について検討した結果、コントロールに対して、増加または増加する傾向が観察された。しかし、明確な EGF 産生の増加を示したのは、DE-71 と HBCD、TBBPA であった (図 11)。

6. BFRs 曝露が免疫担当細胞のシグナル伝達系に及ぼす影響

BFRs が免疫担当細胞の細胞生存・増殖能やサイトカイン産生、活性化マーカーの発現等に及ぼす影響メカニズムの一環として、BFRs 曝露による脾細胞と BMDC の p38 MAPK (pT180/pY182)、ERK1/2 (pT202/pY204)、Stat1 (pY701)、Stat3 (pY705)、Stat5 (pY694)、NF- κ B p65 (pS529)、Akt (pS473) のリン酸化レベルについて検討した。その結果、DE-71

と DE-79 で 15 分間の刺激した BMDC で、ごくわずかなリン酸化 NF- κ B の増加がみられたものの、総じて今回検討した 15 分間および 60 分間の BFRs 刺激では、顕著な変化は認められなかった。

7. BFRs 曝露が気道上皮細胞のシグナル伝達系に及ぼす影響

BFRs が BEAS-2B の細胞生存・増殖能やサイトカイン産生、活性化マーカーの発現等に及ぼす影響メカニズムの一環として、BFRs 曝露による BEAS-2B の p38 MAPK (pT180/pY182), ERK1/2 (pT202/pY204), Stat1 (pY701), Stat3 (pY705), Stat5 (pY694), NF- κ B p65 (pS529), Akt (pS473), EGF Receptor (pY845) のリン酸化レベルについて検討した。その結果、今回検討した 15 分間および 60 分間の BFRs 刺激では、顕著な変化は認められなかった。

最終年度の成果より、BFRs が BMDC の分化・成熟過程に及ぼす影響に関しては、サイトカイン産生などには変化がみられず、作用強度としてはさほど強いものではないと考えられるが、部分的に分化・成熟を促進することが明らかとなった。前年度までに、分化誘導後の BMDC に対する BFRs の影響を検討した際にも、微弱ながらも活性化マーカー分子の発現増加を認めている。これまでの成果を総合すると、BFRs が、種々の免疫担当細胞の種々の分化・成熟段階で、影響を及ぼしうることが示された。一方、BFRs は、気道上皮細胞の毒性や炎症反応に関わる因子 (IL-6、IL-8、可溶性 ICAM-1 の産生等) 以外に、EGF 産生を増加することによっても気道上皮細胞に影響を及ぼす可能性を見出した。EGFR の活性化とその後のシグナル伝達が IL-8 や IL-6 産生に寄与することや(12)、化学物質 (トルエンジイソシアネート) 刺激は、p38 MAPK や ERK 経路を介して、気道上皮細胞の炎症性サイトカイン・ケモカインの産生を誘導することが報告されている(13)。われわれは、いくつかの BFRs が、気道上皮細胞の IL-8 や IL-6 産生を促進することを見出していることから、これらにも EGFR の活性化とシグナル伝達が寄与している可能性がある。

BFRs の免疫担当細胞や気道上皮細胞に及ぼす影響発現メカニズムとして、シグナル伝達系や EGFR (pY845) のリン酸化レベル等が関与している可能性が考えられたため、これらについて検討を加えたが、今回用いた実験条件では、BFRs によるそれらの変動は認められなかった。また BFRs の酸化ストレス作用を 2,7-Dichloro-dihydrofluorescein diacetate を用いた酸化反応により検討したが、いずれの BFRs にも酸化ストレス作用は認められなかった。

D. 結論

BFRs は、顕著なレベルとはいえないものの、免疫・アレルギー反応にかかわる脾細胞中の抗原提示細胞やリンパ球の活性化や Th2 反応を修飾する作用を持つことが、*in vitro* で明らかになった。また、脾細胞における CD86 の発現割合や MHC class II の発現

強度、IL-4 の産生等が影響スクリーニング指標として有用となる可能性が示された。また、BFRs は、作用強度としては強いものではないものの、成熟した抗原提示細胞の活性化に加え、骨髄由来抗原提示細胞の分化・成熟過程をも修飾する可能性が示された。また、BFRs がそれらと呼吸器との最初の物理化学的接点である気道上皮細胞に及ぼす影響のパターンは、化学物質により異なる結果であったが、DE-71 と DE-79、HBCD、TBBPA は、細胞毒性や炎症反応に関わる分子（IL-6、IL-8、可溶性 ICAM-1 等）を修飾することが明らかとなった。これより、これらの BFRs の曝露は、気道上皮細胞から産生される炎症性因子を介し、呼吸器、免疫系に影響を及ぼす可能性が示唆された。また、BFRs は、EGF の産生を増加することによっても呼吸器系に影響を及ぼしうることを示された。

E. 参考文献

- 1 Takano, H., Yoshikawa, T., Ichinose, T., Miyabara, Y., Imaoka, K., and Sagai, M. 1997. Diesel exhaust particles enhance antigen-induced airway inflammation and local cytokine expression in mice. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 156:36-42.
- 2 Takano, H., Ichinose, T., Miyabara, Y., Yoshikawa, T., and Sagai, M. 1998. Diesel exhaust particles enhance airway responsiveness following allergen exposure in mice. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 20:329-336.
- 3 Inoue, K. I., Takano, H., Ichinose, T., Tomura, S., Yanagisawa, R., Sakurai, M., Sumi, D., Cho, A. K., Hiyoshi, K., and Kumagai, Y. 2007. Effects of naphthoquinone on airway responsiveness in the presence or absence of antigen in mice. *Archives of Toxicology* 81:575-581.
- 4 Inoue, K. I., Takano, H., Yanagisawa, R., Sakurai, M., Abe, S., Yoshino, S., Yamaki, K., and Yoshikawa, T. 2007. Effects of components derived from diesel exhaust particles on lung physiology related to antigen. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* 29:403-412.
- 5 Takano, H., Yanagisawa, R., Inoue, K., Ichinose, T., Sadakane, K., and Yoshikawa, T. 2006. Di-(2-ethylhexyl) phthalate enhances atopic dermatitis-like skin lesions in mice. *Environmental Health Perspectives* 114:1266-1269.
- 6 Koike, E., Yanagisawa, R., Sadakane, K., Inoue, K., Ichinose, T., and Takano, H. 2010. Effects of Diisononyl Phthalate on Atopic Dermatitis in Vivo and Immunologic Responses in Vitro. *Environmental Health Perspectives* 118:472-478.
- 7 Yanagisawa, R., Takano, H., Inoue, K., Koike, E., Sadakane, K., and Ichinose, T. 2008. Effects of maternal exposure to di-(2-ethylhexyl) phthalate during fetal and/or neonatal periods on atopic dermatitis in male offspring. *Environmental Health Perspectives* 116:1136-1141.
- 8 Koike, E., Inoue, K., Yanagisawa, R., and Takano, H. 2009. Di-(2-ethylhexyl) phthalate affects immune cells from atopic prone mice in vitro. *Toxicology* 259:54-60.

- 9 Birnbaum, L. S. and Staskal, D. F. 2004. Brominated flame retardants: Cause for concern? *Environmental Health Perspectives* 112:9-17.
- 10 Costa, L. G., Giordano, G., Tagliaferri, S., Caglieri, A., and Mutti, A. 2008. Polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants: environmental contamination, human body burden and potential adverse health effects. *Acta Biomed* 79:172-83.
- 11 Talsness, C. E., Andrade, A. J. M., Kuriyama, S. N., Taylor, J. A., and vom Saal, F. S. 2009. Components of plastic: experimental studies in animals and relevance for human health. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 364:2079-2096.
- 12 Dodmane, P. R., Schulte, N. A., Heires, A. J., Band, H., Romberger, D. J., and Toews, M. L. 2011. Airway Epithelial Epidermal Growth Factor Receptor Mediates Hogbarn Dust-Induced Cytokine Release but Not Ca(2+) Response. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology* 45:882-888.
- 13 Ogawa, H., Inoue, S., Ogushi, F., Ogura, H., and Nakamura, Y. 2006. Toluene diisocyanate (tdi) induces production of inflammatory cytokines and chemokines by bronchial epithelial cells via the epidermal growth factor receptor and p38 mitogen-activated protein kinase pathways. *Experimental Lung Research* 32:245-262.

<図表>

表 1. BFRs の 24 時間曝露が脾細胞に及ぼす影響の結果一覧

評価項目	DE-71	DE-79	DE-83R	HBCD	TBBPA
細胞生存・増殖能	→	↓ (10 µg/ml)	↓ (10 µg/ml)	↓ (10 µg/ml)	→
細胞表面分子 (%)					
MHC class II	→	↓	↓	→	→
CD86	↑	↑	↑	↑	↑
TCR	↑	→	↓	↑	↑
CD3	↑	→	↓	→	↓
CD69	↓	↓	↓	→	→
サイトカイン産生					
IL-4	↑	↑	↑	↑	↑
IFN-γ, IL-13, IL-17, IL-18	ND	ND	ND	ND	ND
ダニ抗原刺激細胞増殖	↓ (3,10 µg/ml)	↓ (10 µg/ml)	→	↓ (10 µg/ml)	→

表 2. BFRs の 24 時間曝露が BMDC に及ぼす影響の結果一覧

評価項目	DE-71	DE-79	DE-83R	HBCD	TBBPA
細胞生存・増殖能	↗	↗	→	→	→
細胞表面分子 (%)					
MHC class II	→	→	→	→	→
CD80, CD86, CD11c	→	→	→	→	→
DEC205	↗	↗	↗	↑	→
ケモカイン産生					
TARC	→	→	↑	→	→
MDC	→	→	↑	↗	→
IL-12p40	ND	ND	ND	ND	ND

ND: 検出限界以下

表 3. BFRs 存在下での 6 日間培養が BMDC の分化・成熟に及ぼす影響の結果一覧

評価項目	DE-71	DE-79	DE-83R	HBCD	TBBPA
細胞生存・増殖能	↗	↗	→	↗	→
細胞表面分子 (%)					
MHC class II	→ (MFI ↑)	→ (MFI ↑)	→ (MFI ↑)	↑	→
CD80, CD86, CD11c	→ (MFI ↑)	→ (MFI ↑)	→ (MFI ↑)	↑	→
DEC205	→ (MFI ↗)	→ (MFI ↗)	→ (MFI ↑)	↑	→
CCR7	↑	↗	↑	↗	↑
CXCR4	↗	↑	↑	↗	↗
ケモカイン産生					
TARC, MDC	→	→	→	→	→
IL-12p40	ND	ND	ND	ND	ND

表 4. BFRs の 24 時間曝露が BEAS-2B 細胞に及ぼす影響の結果一覧

評価項目	DE-71	DE-79	DE-83R	HBCD	TBBPA
細胞生存・増殖能	↗ (3, 10 µg/ml)	→	→	↓ (10 µg/ml)	↓ (3, 10 µg/ml)
細胞表面分子					
ICAM-1 (MFI)	↑	↑	→	↑	↑
サイトカイン等液性因子					
IL-6	↑	↑	→	↑	↑
IL-8	↑	↑	→	↑	↓
MIP-3α	ND	ND	ND	↑	ND
TNF-α, TSLP, IL-13, IL-18, IL-33	ND	ND	ND	ND	ND
可溶性ICAM-1	↗	↗	↗	↑	↑

TNF-α; tumor necrosis factor-α

MIP-3α; macrophage inflammatory protein-3α

TSLP; thymic stromal lymphopoietin

ND: 検出限界以下

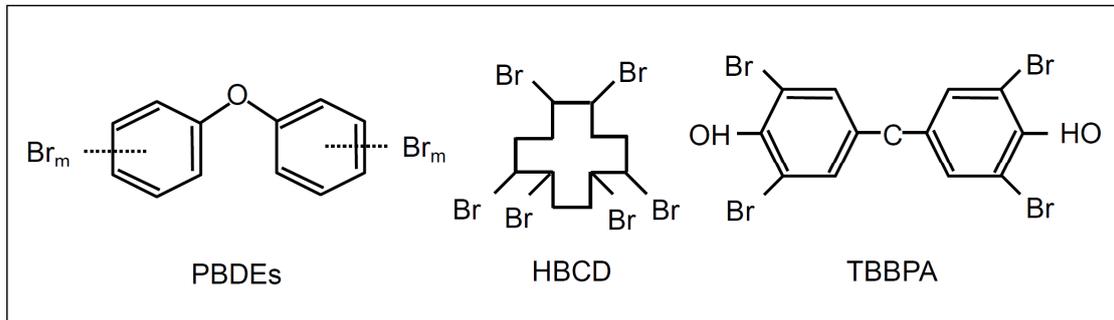
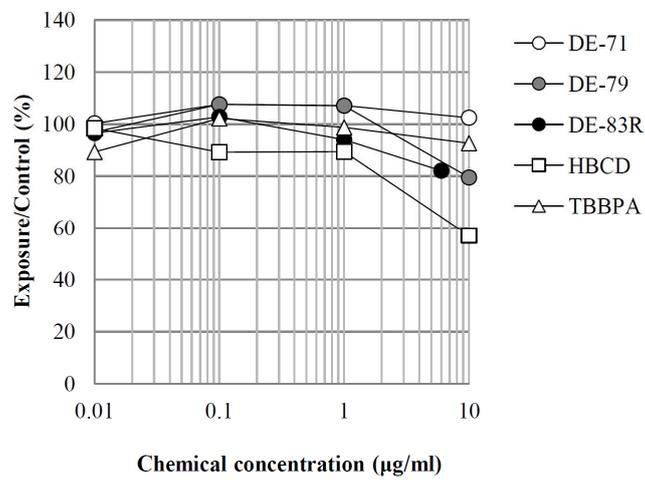


図1. BFRsの化学構造式

(A). 脾細胞



(B). BMDC

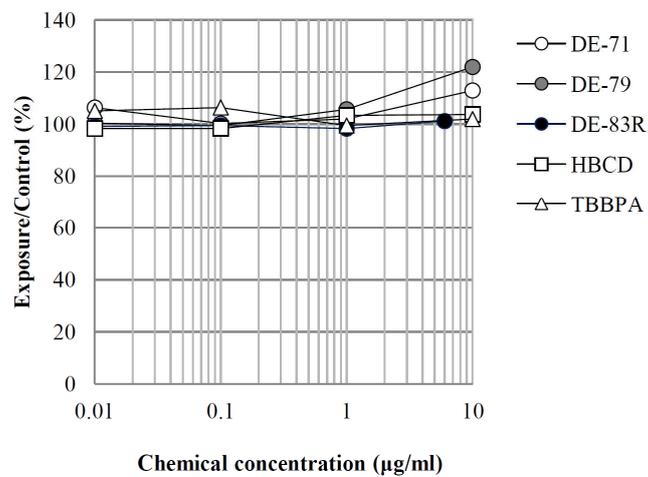


図2. BFRsの24時間曝露による免疫担当細胞の細胞増殖・生存能の変化

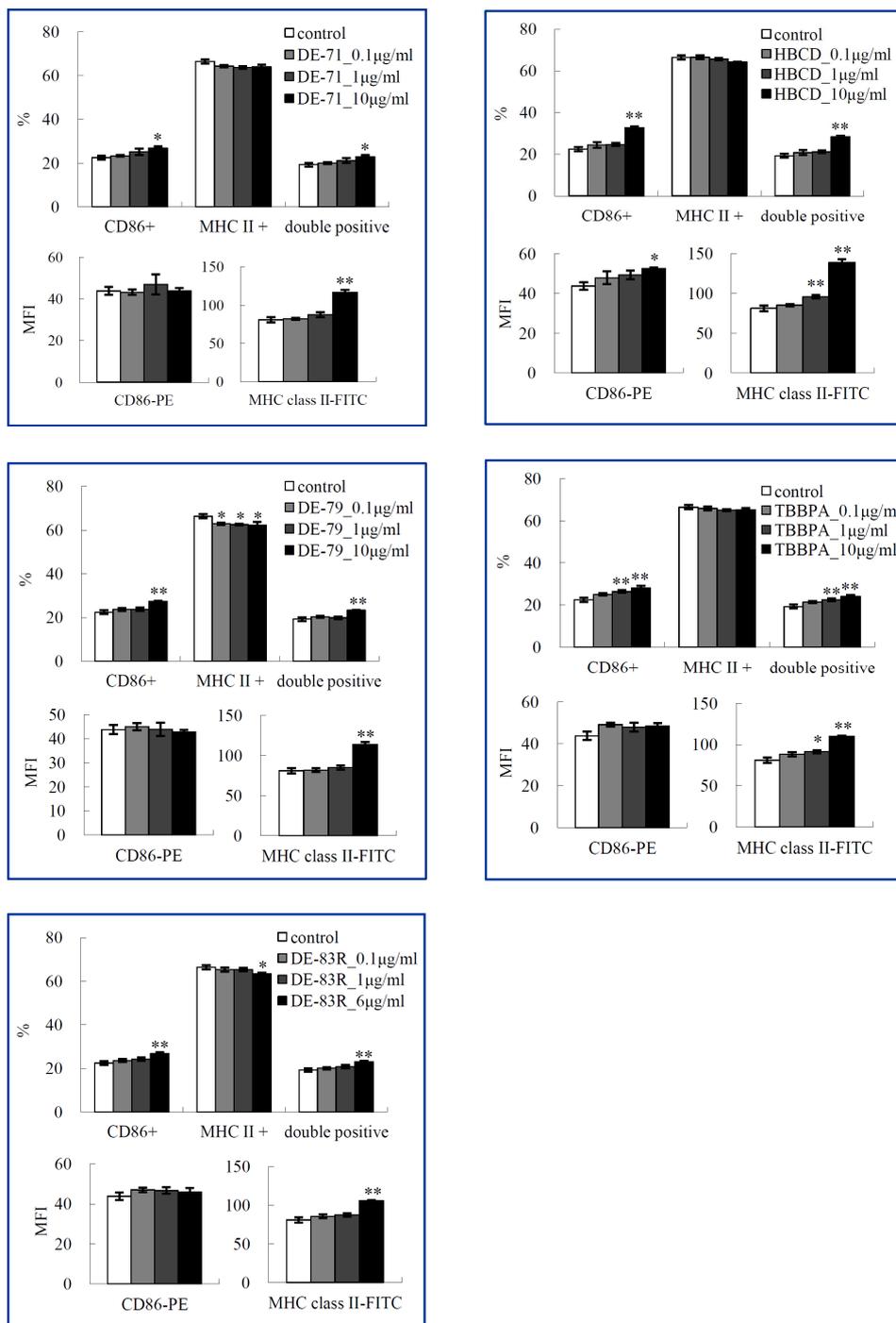


図 3. BFRs の 24 時間曝露が脾細胞中の抗原提示細胞表面分子の発現に及ぼす影響
 * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ BFRs 曝露対コントロール

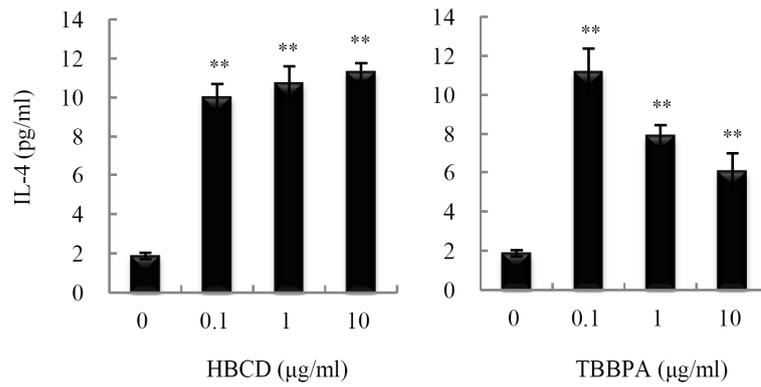
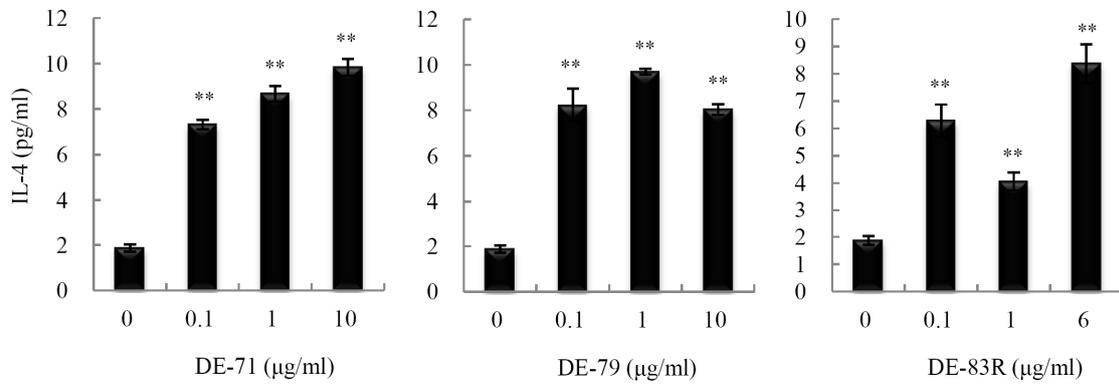
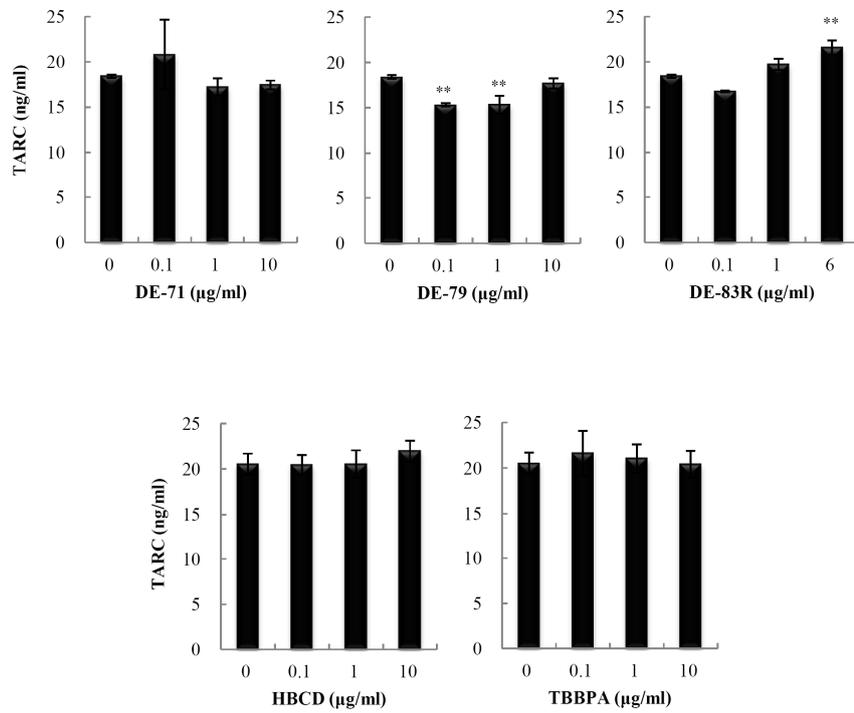


図4. BFRsの24時間曝露が脾細胞のIL-4産生に及ぼす影響

*p<0.05, **p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

(A). TARC



(A). MDC

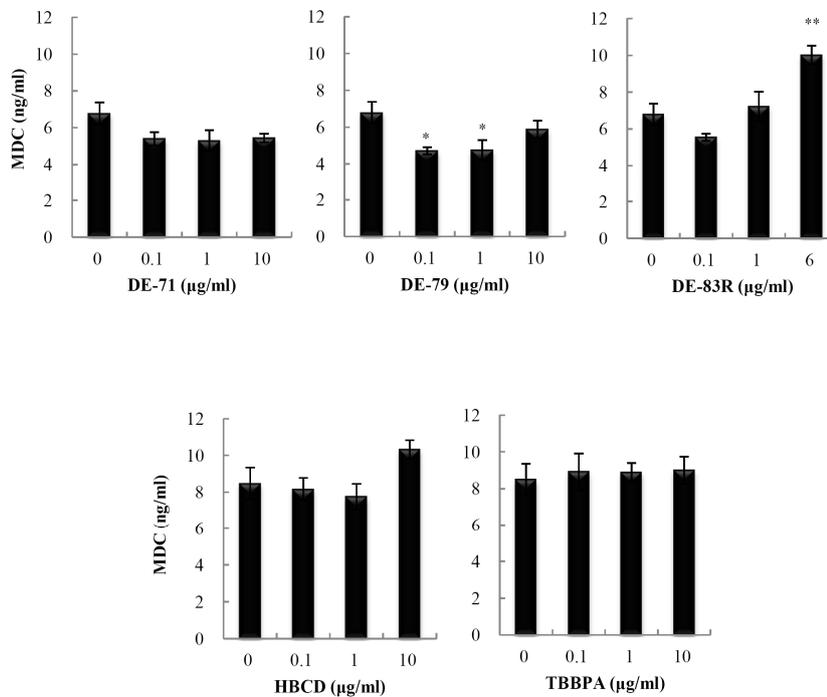


図 5. BFRs の 24 時間曝露が BMDC の TARC と MDC の産生に及ぼす影響
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ BFRs 曝露対コントロール

陽性細胞率 (%)

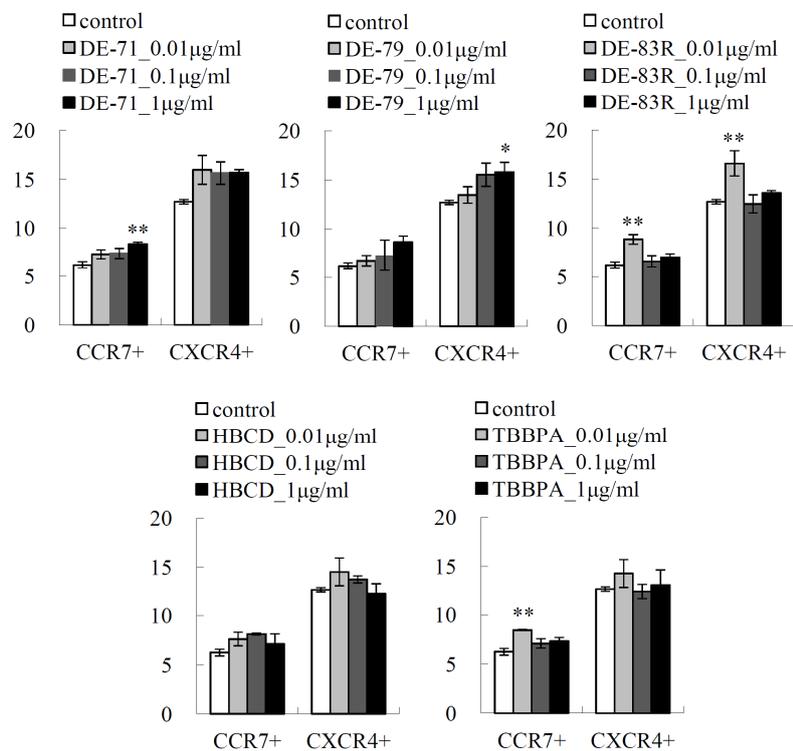


図 6. BFRs 存在下での 6 日間の分化誘導が BMDC のケモカインレセプターの陽性細胞率に及ぼす影響

*p<0.05, **p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

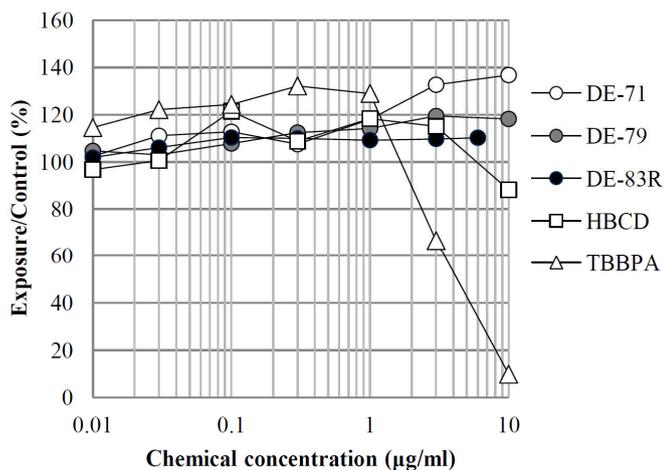


図 7. BFRs の 24 時間曝露による BEAS-2B の細胞生存・増殖能の変化

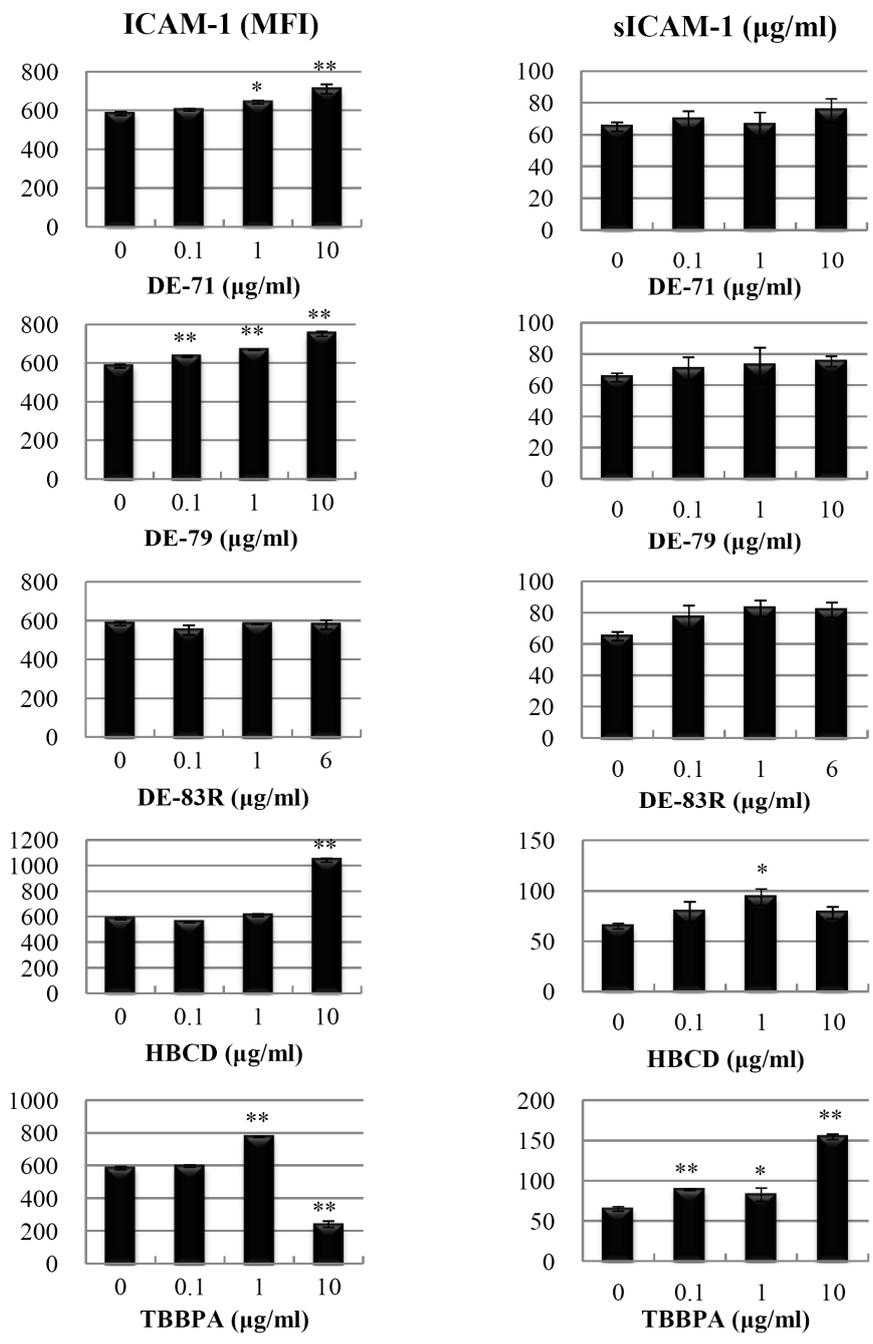


図 8. BFRs の 24 時間曝露が BEAS-2B の ICAM-1 の発現強度と sICAM-1 の産生に及ぼす影響

*p<0.05, **p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

IL-6 (pg/ml)

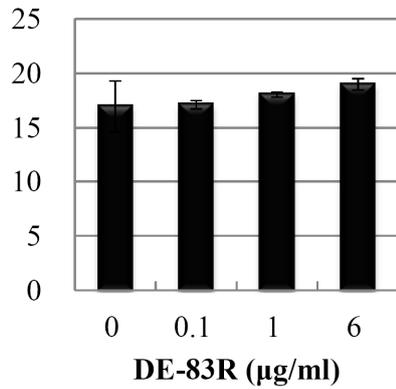
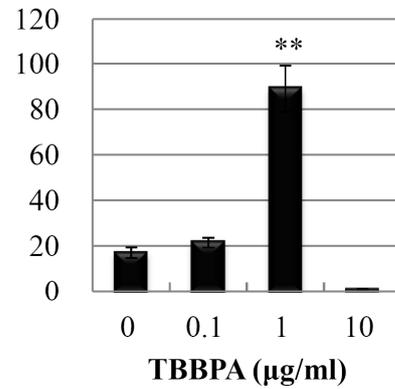
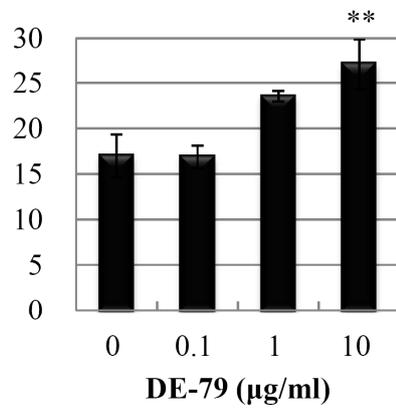
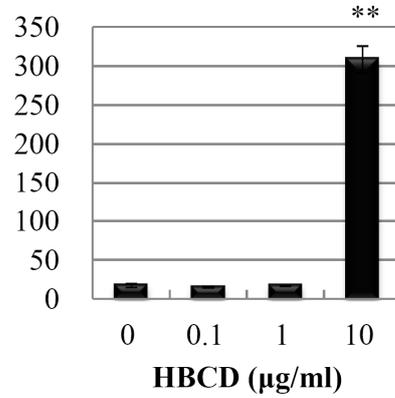
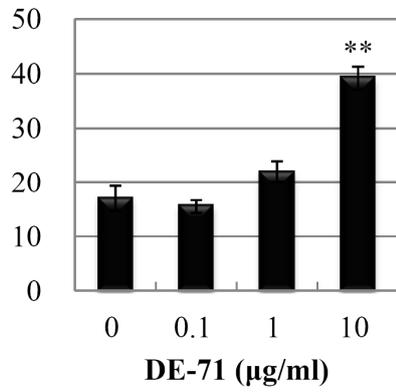


図9. BFRsの24時間曝露がBEAS-2BのIL-6産生に及ぼす影響

**p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

IL-8 (pg/ml)

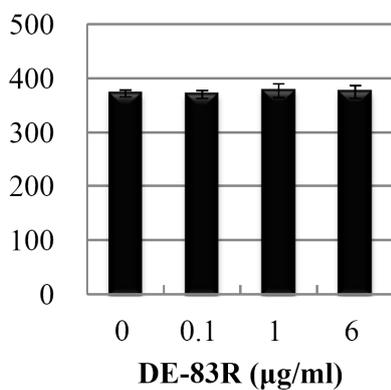
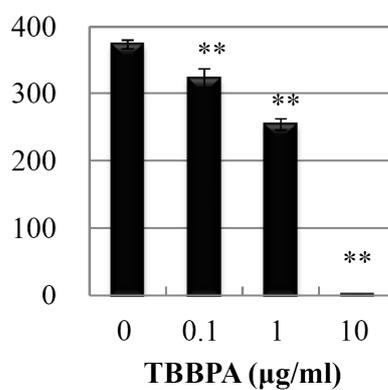
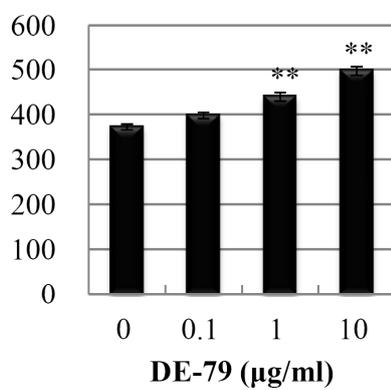
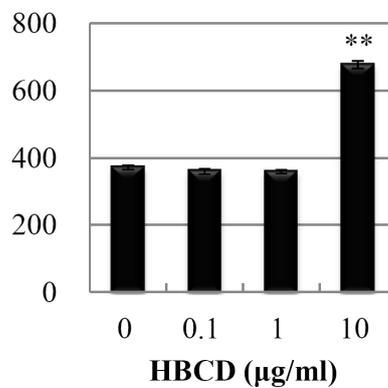
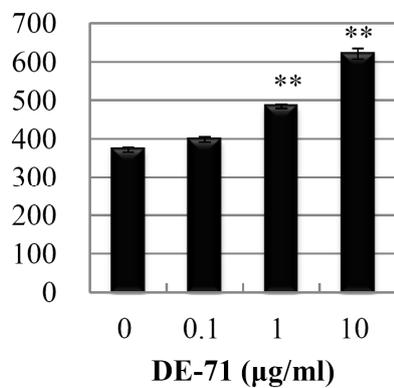


図 10. BFRs の 24 時間曝露が BEAS-2B の IL-8 産生に及ぼす影響

**p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

EGF (pg/ml)

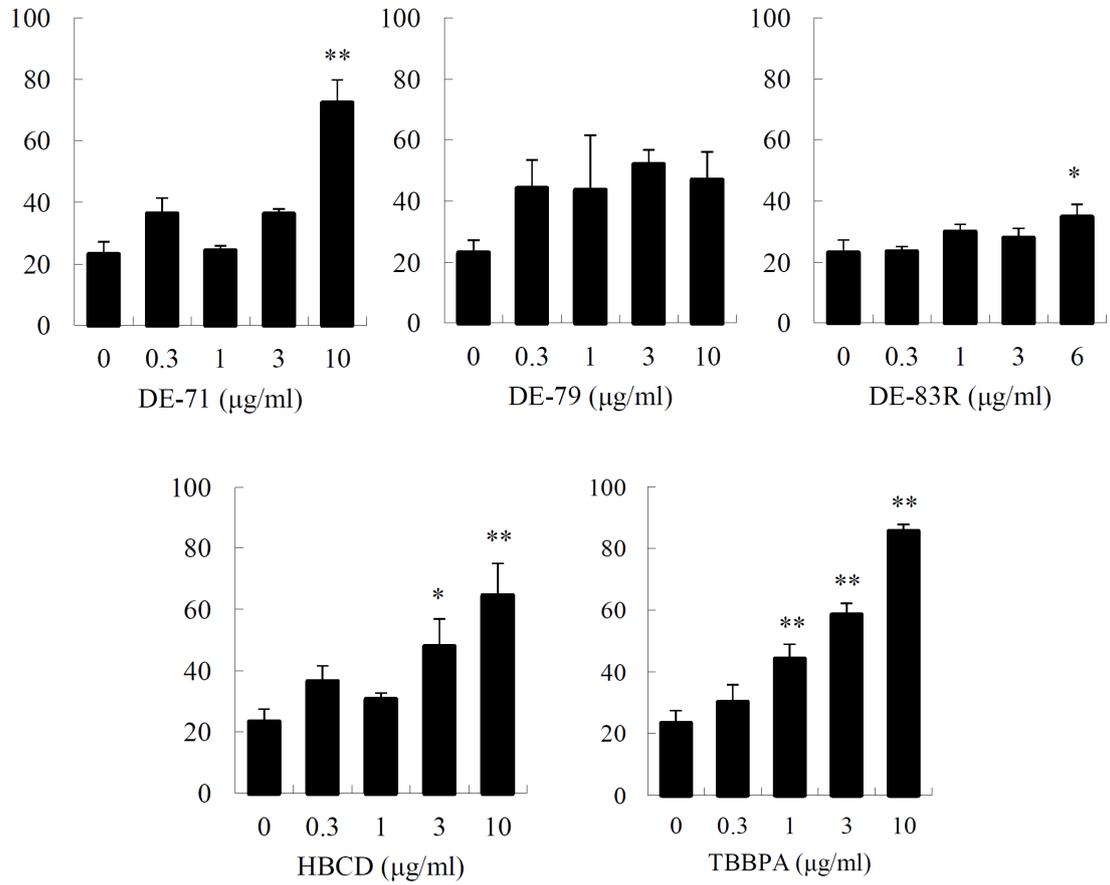


図 11. BFRs の曝露が BEAS-2B の EGF 産生に及ぼす影響

*p<0.05, **p<0.01 BFRs 曝露対コントロール

第4章 アジア諸国を発生源とする局所的・広域的な微量元素汚染の実態解明

研究分担者：田辺信介（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

研究協力者：板井啓明・宝来佐和子・高橋 真（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

A. 研究目的

アジア諸国では、近年急増する工業製品の需要にともない、廃棄物処理やリサイクルシステムの確立が重要課題となっている。しかしながら、リサイクルシステム構築の過程においては、かつて日本が経験したような、有害物質による環境汚染が発生する可能性がある。また、莫大な人口を抱えるアジア地域から放出される有害物質は、地球規模での汚染にも影響を及ぼすがある。本研究では、とくに重金属類による汚染に着目し、研究を展開してきた。重金属類は、一般に長距離移動性が低いため、発生源近辺にホットスポットが形成され、周辺環境住民が著しい高濃度暴露を受けるケースがある。そのような状況が懸念される環境として、電気電子機器(e-waste)リサイクル処理場が挙げられる。近年、先進国で不要となった e-waste の多くは、アジアやアフリカの途上国へリサイクル目的で流出している。e-waste は様々な重金属を含有するが、現地のリサイクル施設では、周辺環境やヒトの健康を無視した不適切な処理や廃棄物投棄が問題視されている。こうした過程で、重金属が環境中に放出されるだけでなく、リサイクル従事者も直接あるいは間接的に有害物質に暴露していると考えられる。本研究では、経済成長の著しいインド・ベトナムの e-waste 処理場における土壌および大気粉塵中重金属濃度を網羅的に分析し、発生源の汚染実態について考察した。

一方で、広域的な汚染が懸念される重金属もある。Hg はその代表であり、産業革命以降大気中の Hg 濃度は約3倍上昇したと報告されている(Pacyna et al. 2006)。大気中 Hg 濃度の経年的上昇は、海洋中 Hg 濃度の上昇をもたらすと予察されるが、分析化学的な制約から、外洋における経年的変化に関する地球化学的データは乏しいのが現状である。本研究では、外洋性鯨類体内の Hg は、(1) 濃度が高く信頼度の高いデータが得られること、(2) 生息域の積分値を反映することから、経年変動の検証に有効であると考え、1970年代以降に採取され冷凍保存されてきた沿岸性ならびに外洋性鯨類の試料を用いて日本沿岸から外洋域に至るまでの Hg 濃度の経年変動について解析した。

本報告書では二章を設け、前半ではアジア各地の電気電子機器(e-waste)処理場における重金属類汚染調査について、後半では鯨類を用いた海洋の重金属類汚染のモニタリング調査について、その成果を報告する。

第4章第1節 アジア各地の電気電子機器(e-waste)処理場における調査

B. 研究方法

B-1 調査地域の選定

インド・バンガロール市周辺と、ベトナム・ハノイ市周辺の各種 e-waste リサイクル地域および対照地域を選定し、調査を実施した (Fig. 1)。詳細は以下の通りである。

インド・バンガロール市：インド・バンガロール市は、カルナタカ州の州都であり、インドで第三位の人口を擁する。市内には、重工業関連工場、ソフトウェア関連企業、宇宙開発、通信業、防衛関連施設が密集し、インドのシリコンバレーと呼ばれている。バンガロール地域における e-waste リサイクル工場の現状については報告例があり、バンガロールはインド国内に八か所存在する主要 e-waste 処理地域の一つとされている(Keller, 2010)。バンガロールでは CRT、プラスチック、PWB、ワイヤー・ケーブル類、金属製品などのリサイクルが進められているが、とくに金の抽出・回収が主体と考えられている。

ベトナム・ハノイ市：ベトナムの首都であるハノイ市はベトナム北部に位置し、人口 620 万人を越えるの大都市である。産業活動が急速に発達したため、周辺地域には e-waste 処理を含む様々な廃棄物処理場が分布している。以下に今回の調査地域の詳細を記す。

・ Minh Khai (以下 MK) は人口約 9000 人で、700 世帯を擁する村落である。住民の 2/3 は家内工業規模のプラスチックリサイクルに従事している。プラスチック解体業は 16 年前に開始され、一日当たり数 100 トンのプラスチックが村内に搬入されていると推定されている。

・ Dong Mai (以下 DM) では、40 年前から鉛バッテリーのリサイクル業が営まれている (Tue et al. 2010)。村の人口は約 2300 人で 600 世帯を擁し、鉛バッテリー工場での作業従事者は約 500 名と推定されている。Dong Mai 村では一日当たり約 14 トンの使用済みバッテリーが処理され、約 10 トンの廃棄物が発生していると推定されている。

・ Bui Dau (以下 BD) は、約 80 世帯を有する小さな村落である。この村では e-waste のリサイクルが実施されているが、開始されたのは 6~8 年前である。

・ Trang Minh (以下 TM) は、人口約 9000 人で、1980 年以降プラスチックのリサイクル業が営まれている。

上記の村落では、ほとんどのリサイクル業は家庭規模で実施されており、汚染対策が不十分な裏庭で作業がなされている。多くの場合、作業場での身体保護は、グローブ・タオル・フェイスマスクのみである (Tue et al. 2010)。主な廃棄物処理工程は、手動解体による金属部品の回収や、使用済みプラスチックの粉碎・ペレット化である。e-waste リサイクル地域における主要な廃棄物は、テレビ、ビデオプレイヤー、液晶モニター、コンピューター関連部品であった。

B-2 試料採取

インド南部・バンガロール地域およびベトナム北部・ハノイ周辺地域において e-waste リサイクル地域と対照地域を選定し、各地域で採取した土壌試料・粉塵試料を分析に供試した。1 m²あたり 5 点の表層土壌 (0-5 cm) をステンレス製スコップで採取した後、各土壌を等量ずつ混合して 1 つの試料とした。大気粉塵は、ハイボリュームエアサンプラー (HV-500F, Shibata Kagaku, Tokyo, Japan) を用いて、石英フィルター(QR-100, ADVANTEC, Toyo Roshi Kaisha, Tokyo, Japan)上に捕集した。流量は 500 L/min、採取時間は 5 時間とし、採取した粉塵の粒径は 7 μm 以下である。土壌および大気粉塵はポリエチレン製の袋に採集した後、速やかに冷凍し、日本に持ち帰った。全ての試料は愛媛大学沿岸環境科学研究センターの生物環境試料バンク (es-BANK) に保存した。試料採取地域と採取試料数は以下の通りである。

・インド・バンガロール市周辺：

BEF: e-waste リサイクル工場 (土壌: $n=3$ 、粉塵: $n=1$)、

BES: スラムの小規模リサイクル施設 (以下 BES、土壌: $n=7$)、

BC: 対照地域 (土壌: $n=10$ 、粉塵: $n=1$)。

スラムの小規模リサイクル施設では、喚気設備の整わない環境で、水銀を用いて金や銀を抽出している作業が認められた。対照地域は e-waste リサイクルが実施されていない都市域や農地を選定した。

・ベトナム・ハノイ市周辺：

DM: 鉛バッテリーリサイクル村 (土壌: $n=7$ 、粉塵: $n=1$)

MK: プラスチックおよび金属回収施設 (土壌: $n=7$)

TM: e-waste 解体施設 (土壌: $n=6$ 、粉塵: $n=1$)

BD: e-waste 解体施設 (土壌: $n=13$ 、粉塵: $n=3$)

TH: 対照地域 (土壌: $n=4$ 、粉塵: $n=1$)。

各リサイクル施設では、手動での e-waste 製品の解体や酸処理、野焼きの形跡などが認められた。対照地域は e-waste リサイクルが実施されていない農地を選定した。

B-3 化学分析

土壌試料は、風乾後、0.5 mm メッシュの篩で粗粒の粒子を除去した後、磁性乳鉢で均質化した。均質化した試料を秤量し、硝酸とフッ化水素酸を用いてマイクロ波加熱分解装置 (Ethos D, Milestone S. r. l., Sorisole, BG, Italy) で酸分解した。粉塵試料は、石英フィルターにトラップされた試料を 40°C で 24 時間乾燥した後、重量を秤量し、硝酸とフッ化水素酸を用いてマイクロ波加熱分解装置で酸分解した。土壌・粉塵試料の分解液中の 15 元素 (V、

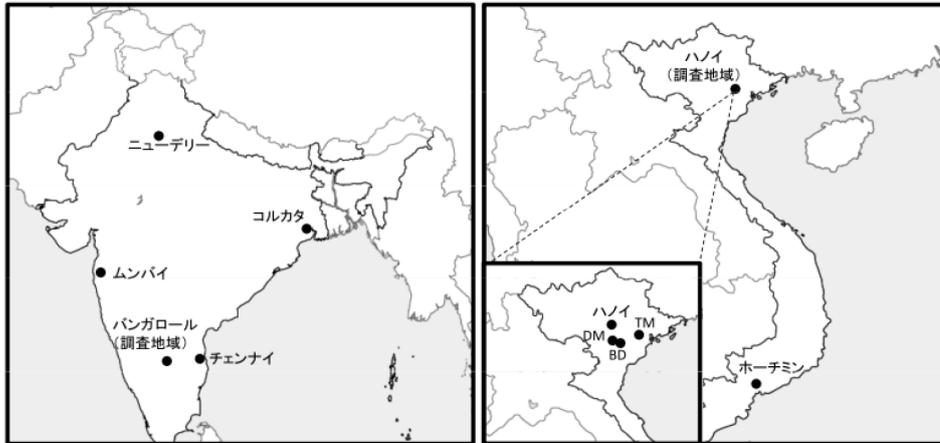


Fig. 1 インドおよびベトナムにおける調査地域の地理的分布

Table 1. ハザード比の計算パラメーター一覧

Parameter	Unit	Adults	Children
C	$\mu\text{g/g}$	測定値	
RfD ₀	$(\text{mg/kg-day})^{-1}$	US-EPA	
IRS	mg/day	100	200
EF	days/year	350	
ED	years	30	6
BW	kg	60	15
AT	days	ED × 360	

Cr、Mn、Co、Cu、Zn、Mo、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Tl、Pb、Bi) は ICP 質量分析計 (Agilent 7500cx, Agilent) で、Hg は水銀分析装置 (HG-3000, Sanso) で定量した。分析の確度は、PACS2 (海洋堆積物標準試料、National Research Council of Canada)、BCR-142R (砂質土壌標準試料、Institute for Reference Materials and Measurements, Belgium)、NIES No.8 (排ガス粒子標準試料、国立環境研究所) を分析して確認した。各々の標準試料中微量元素濃度の回収率は、それぞれ 86 - 119%、86-115%、85-118%であった。

B-4 XAFS 分析

インド南部・バンガロール地域の e-waste 処理場 (n = 4) , およびベトナム北部の Dong Mai 地域の鉛バッテリー処理場周辺 (n = 3) で採取した土壌試料を XAFS 分析に供試した。XAFS 分析では、形態変化を防止するため、凍結した土壌試料を酸素不透過性のフィルムに入れ、直接 X 線を照射して分析した。各測定は、高エネルギー加速器研究機構・Photon Factory で実施した。Cu、Zn の K 吸収端 XANES は BL-9A で、Sn、Sb の K 吸収端 XANES は NW-10A で測定した。

B-5 統計解析

全ての統計解析には、解析ソフトウェア StatView (version 5.0, SAS Institute, Cary, NC, USA) と SPSS (version 12, SPSS, Chicago, IL, USA) を用いた。微量元素濃度が検出下限以下の検体については、各元素の検出限界の半分の値を採用し、統計解析に組み込んだ。全てのデータは、Kolmogorov-Smirnov 検定により正規性を確認した。データに正規性が認められない場合は、パラメトリック検定を適用するためにデータを対数変換した。各地域間での土壌中微量元素濃度の有意差は、一元配置分散分析 (1 way ANOVA) で検定し、有意水準は $p < 0.05$ とした。

B-6 リスク評価

ATSDR の複合毒性リスク評価スキームに従い、各種 HI を算出した。計算には、Bangalore (BES)、Dong Mai の土壌中重金属濃度の幾何平均値および最大値を用い、成人と子供の両方について計算を試行した (ATSDR, 2004)。HQ の算出に用いた各種パラメータは Table 1 の通りである (US-EPA, 2001)。

HI の算出にあたっては、土壌中微量元素濃度に基づき、(1) 単純加算法 (HI_{add})、(2) 標的器官毒性当量を用いた手法 (HI_{TDD})、(3) 複合影響を考慮した手法 (HI_{int})、の三種類の手法で HI を算出した。なお、今回の計算は毒性発現閾値の与えられている非発癌性リスクのみについて実施した

C. 結果と考察

C-1 汚染レベル

C-1-1 インド・バンガロール市周辺

Table 2. バンガロール地域、ハノイ周辺地域のe-waste処理地域・対照地域における
土壌中微量元素濃度 (mg/kg、上段：幾何平均、下段：最小値-最大値)

		V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	Mo	Ag
サンプリング地域									
インド・バンガロール地域									
スラムの小規模リサイクル施設 (BES)	30 (24-37)	73 (46-160)	449 (286-849)	11 (5.2-42)	592 (61.7-4790)	326 (126-2530)	1.78 (0.839-11.0)	14 (2.2-320)	
e-wasteリサイクル工場 (BEF)	69 (62-77)	54 (50-62)	619 (483-897)	14 (12-16)	429 (154-2190)	192 (119-499)	1.81 (1.35-2.19)	2.5 (1.3-8.7)	
対照地域 (BC)	53 (21-76)	57 (38-190)	390 (262-629)	11 (4.9-17)	22.8 (10.0-40.4)	41.0 (30.3-59.8)	1.04 (0.545-1.60)	0.36 (0.24-0.53)	
ベトナム・ハノイ周辺地域									
プラスチック回収工場 (MK)	85 (49-124)	80 (58-98)	744 (530-869)	14 (9.0-18)	47.9 (41.5-59.1)	167 (122-385)	0.86 (0.67-1.4)	0.249 (0.187-0.395)	
鉛バッテリーリサイクル工場 (DM)	121 (67-184)	81 (56-112)	261 (86-546)	13 (9.6-15)	100 (32.9-335)	214 (116-515)	1.5 (0.62-3.7)	0.3 (0.072-1.09)	
e-waste 解体工場 (TM)	79 (58-116)	61 (46-73)	316 (188-626)	14 (8.1-42)	56.3 (44.3-83.9)	115 (70.0-187)	1.8 (0.73-3.1)	0.318 (0.186-0.867)	
e-waste 解体工場 (BD)	98 (47-148)	72 (40-101)	219 (114-391)	10 (6.5-14)	47.3 (12.4-209)	114 (44.2-1080)	1.7 (1.0-4.2)	0.235 (0.170-0.386)	
対照地域 (TH)	172 (103-228)	88 (65-110)	543 (442-655)	9.3 (7.3-11)	110 (55.9-149)	416 (243-558)	1.4 (0.77-2.0)	0.273 (0.237-0.320)	
サンプリング地域									
インド・バンガロール地域									
スラムの小規模リサイクル施設 (BES)	2.33 (0.385-38.9)	0.722 (0.082-4.62)	86.1 (9.13-957)	14 (2.9-180)	1.8 (0.09-59)	0.390 (0.303-0.462)	297 (90.4-2850)	0.667 (0.126-2.70)	
e-wasteリサイクル工場 (BEF)	0.478 (0.301-0.906)	0.618 (0.464-0.859)	46.2 (20.9-118)	24 (9.3-110)	<0.05 (0.015-0.127)	0.650 (0.601-0.737)	126 (79.1-262)	0.639 (0.509-0.920)	
対照地域 (BC)	0.165 (0.082-0.296)	0.105 (0.059-0.208)	2.45 (1.41-5.36)	0.43 (0.22-1.2)	<0.05	0.487 (0.211-0.716)	22.8 (12.6-35.6)	0.151 (0.101-0.252)	
ベトナム・ハノイ周辺地域									
プラスチック回収工場 (MK)	0.539 (0.338-0.761)	0.091 (0.053-0.114)	5.41 (3.55-12.8)	3.1 (2.1-5.1)	0.076 (0.039-0.119)	0.611 (0.246-0.850)	82.7 (45.0-141)	0.633 (0.297-0.920)	
鉛バッテリーリサイクル工場 (DM)	0.633 (0.139-2.10)	0.267 (0.103-0.805)	25.8 (7.90-79.5)	56 (10-389)	0.056 (0.015-0.127)	0.962 (0.652-1.63)	2205 (413-9339)	1.59 (0.768-3.56)	
e-waste 解体工場 (TM)	0.433 (0.158-0.856)	0.13 (0.056-1.27)	4.78 (2.75-7.63)	2.6 (1.5-4.8)	0.141 (0.069-0.276)	0.63 (0.500-0.868)	54 (44.6-74.6)	0.485 (0.320-0.705)	
e-waste 解体工場 (BD)	0.258 (0.105-0.637)	0.113 (0.065-0.218)	6.91 (2.69-27.3)	2.6 (1.4-6.1)	0.071 (0.017-0.355)	0.735 (0.398-0.849)	51.4 (28.8-110)	0.612 (0.398-0.849)	
対照地域 (TH)	0.246 (0.217-0.277)	0.098 (0.069-0.111)	4.85 (4.00-6.43)	3 (1.7-6.3)	0.085 (0.039-0.149)	0.314 (0.235-0.425)	25.5 (18.7-31.3)	0.396 (0.220-0.506)	

土壌試料：インド・バンガロール市周辺では、e-waste リサイクル地域周辺 (BES+BEF) における土壌中 Cu、Ag、Pb、Sn、Sb、Ag、Mo、Cd、Bi、In、Hg 濃度が対照地域と比較して統計的に有意に高値を示した (Table 2)。濃縮係数[EF = (幾何平均濃度)e-waste / (幾何平均濃度)対照地域]を算出したところ、BES では Cu、Ag、Cd、Sn、Sb、Hg、Pb が、BEF では Cu、Sn、Sb で EF 値が 10 を超過した。各微量元素濃度は BES-BEF 間で強い正の相関を示すが ($r = 0.9147$)、一般に BES でより高濃度であった。この傾向は、Hg と Ag でとくに顕著であり、Hg は BEF ではほとんど検出されなかった。これは、e-waste からの貴金属の不適切な抽出が、工場内よりも屋外で顕著であることを示唆している。

バンガロールの土壌試料から得られた結果を、中国 Guiyu の e-waste リサイクル地域で得られた結果と比較したところ (Leung et al. 2008)、ほとんどの微量元素濃度は、Guiyu と同等もしくはやや低いレベルであった (Table 3)。また、US EPA の示した土壌のスクリーニング値 (residential level、industrial-outdoor level) と比較すると、Cu (n = 1; BES)、Sb (n = 2; BES: 1, BEF: 1)、Hg (n = 3; BES)、and Pb (n = 2; BES) の 4 元素について、residential level を超過する試料があった (DTSC, 1999)。また、BES の土壌中 Pb の最高濃度は industrial outdoor level を超過していた。これらの結果より、e-waste リサイクル地域周辺住民の微量元素曝露が危惧される。

粉塵試料：バンガロールで採取した粉塵試料は BEF と CC でそれぞれ 1 試料のみであるので、統計解析を適用することはできないが、CC と比較して BEF で高値を示した元素は Cr、Mn、Co、Cu、In、Sn、Sb、Tl、Pb、Bi であった。中でも、Cu、In、Sn、Tl、Bi は 10 倍以上の高濃度である。バンガロール市周辺で得られた値を、中国の e-waste リサイクル地域 Guiyu の粉塵で得られた値と比較したところ (Deng et al. 2006)、粒子サイズの違いを考慮する必要があるものの、Guiyu の粉塵中微量元素濃度の方が概して高値であった (Table 4)。しかし、BEF での結果を US EPA の示した大気中微量元素濃度のスクリーニング値 (Cr、Mn、Co、Cd) と比較すると、4 元素ともスクリーニング値を超過しており、大気微粒子の汚染は無視できないレベルにある (DTSC, 1999)。

G-1-2 ベトナム・ハノイ市周辺

土壌試料：ベトナム・ハノイ市周辺では、各 e-waste リサイクル地域間で大きな差が見られた (Table 1)。もっとも汚染が顕著なのは鉛バッテリーリサイクル地域 (DM) であり、とくに Pb と Sb の EF 値はそれぞれ 86、19 ときわめて高値であった。Pb バッテリーの電極には Sb を数%含む合金が使用されることがあり、高濃度の Sb は電極に由来すると推測される。この地域では、Sn や Bi も高い EF 値 (それぞれ 5.3、4.0) を示しており、Pb の精製過程で環境中に放出されたと推測される。e-waste 解体地域 (TM、BD)、プラスチック回収地域 (MK) では、微量元素濃度は概して低く、対照地域との有意差もほとんど見られなかった。

汚染レベルを評価するため、土壌中微量元素濃度をオランダおよびベトナムにおける土壌中の基準濃度と比較した (TCVN, 2002; ATSDR, 2007) (Table 4)。オランダでは intervention

Table 3. 土壤中微量元素レベルの地域比較

Country	location	Sample	V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	Reference		
Reference sites																								
Vietnam	Thach Hoa (TH)	n=4	Gmean	201	93.9	566	9.57	132	491	11.5	1.010	1.74	0.282	0.228	0.108	4.77	3.11	78	0.102	0.295	25.2	0.408	This study	
			min	150	85.0	526	7.29	110	363	11.2	0.628	1.627	0.256	0.217	0.098	4.14	2.58	64.8	0.081	0.235	18.7	0.220		
			max	228	110	655	10.7	149	558	13.3	1.12	2.24	0.320	0.256	0.111	5.21	6.21	107	0.149	0.360	31.3	0.506		
Vietnam	Investigation levels	95th	Gmean	53.0	56.8	390	10.6	22.8	41.0			1.04	0.362	0.165	0.105	2.45	0.430	284	0.025	0.487	22.8	0.151	7	
Bangalore, India	Reference sites		min	21.5	37.6	262	4.94	10.0	30.3			0.545	0.235	0.082	0.059	1.41	0.221	140	0.025	0.211	12.6	0.101	3	
			max	76.4	186	629	16.6	40.4	59.8			1.60	0.534	0.296	0.208	5.36	1.21	394	0.025	0.716	35.6	0.252		
Guiyu, China	Reservoir		max				42.7	106					nd										12	
			min				29.5	42.2											nd					
			mean				32.3	158						0.04										13
Wenling, China	Background		mean	50.5			17	47.3						0.06										14
E-waste sites																								
Vietnam	Minh Khai (MK)	n=7	Gmean	85.3	80.2	744	13.5	47.9	167	13.8	0.390	0.951	0.249	0.539	0.091	5.93	3.37	383	0.076	0.611	82.8	0.633	this study	
			min	49.0	58.4	530	9.00	41.5	122	9.72	0.247	0.719	0.187	0.338	0.053	3.98	2.36	224	0.039	0.246	45.1	0.297		
			max	124	98.3	869	17.8	59.1	385	19.0	0.676	1.62	0.395	0.761	0.114	14.4	5.67	563	0.119	0.850	141	0.920		
	Dong Mai (DM)	n=10	Gmean	121	81.2	261	13.1	100	214	18.5	0.713	1.58	0.291	0.632	0.267	27.2	59.1	400	0.056	0.962	2301	1.59		
			min	66.8	56.2	85.5	9.63	33	116	12.4	0.316	0.693	0.062	0.139	0.130	8.02	10.5	234	0.015	0.652	413	0.768		
			max	184	112	546	15.3	335	515	68.5	3.10	4.62	1.09	2.10	0.805	83.7	436	572	0.127	1.63	10650	3.56		
	Trang Minh (TM)	n=6	Gmean	79.2	61.4	315	13.6	56.3	115	13.1	0.418	2.03	0.318	0.433	0.130	5.99	2.90	228	0.141	0.630	54.0	0.501		
			min	57.5	45.5	188	8.10	44.3	69.7	9.40	0.194	0.814	0.186	0.158	0.056	3.08	1.70	204	0.069	0.500	44.6	0.389		
			max	116	73.3	626	41.6	83.9	187	21.4	0.582	3.46	0.867	0.856	1.271	10.1	5.34	313	0.276	0.868	74.6	0.705		
	Bui Dau (BD)	n=13	Gmean	97.7	71.7	217	9.88	47.3	113	13.1	0.314	1.64	0.233	0.258	0.111	7.01	2.56	345	0.071	0.735	51.0	0.613		
			min	47.2	40.1	114	6.45	12.4	44.2	8.69	0.087	0.980	0.148	0.105	0.061	2.68	1.18	169	0.017	0.476	25.5	0.398		
			max	148	101	348	13.7	209	1080	20.6	0.589	4.14	0.386	0.637	0.218	38.5	6.11	503	0.355	1.06	110	0.849		
Bangalore, India	Backyard		Gmean	30	73	449	11	592	326	1.78	14.3	2.33	0.722	86.1	14.1	755	1.75	0.390	297	0.667			3	
			min	24	46	286	5	62	126			0.84	2.21	0.38	0.092	9.13	2.86	367	0.086	0.303	90	0.126		
			max	37	163	849	42	4792	2529			10.98	316	38.9	4.62	957	182	1831	59.1	0.462	2855	2.695		
	Facility		Gmean	69	54	619	14	429	192	1.81	2.50	0.478	0.618	46.2	23.5	393	0.025	0.650	126	0.639				
			min	62	50	483	12	154	119	1.35	1.32	0.301	0.464	20.9	9.3	338	0.025	0.601	79	0.509				
			max	77	62	897	16	2192	499	2.19	8.74	0.906	0.859	118	112.5	457	0.025	0.737	262	0.920				
Guiyu, China	Near open-burning site		min	70.2			59	6.01					nd											12
	Open-burning site		max	477			14,253	5298					42.9											
			min	137			1374	546					5.61											
	Rice field		max	509			240	114					nd											
			min	81.9			29.9	7.9																
Wenling, China	E-waste recycling plants		max	269			296	661					7.4					1.0			502			13
			min	16.4			77.9	178					1.7					0.2			81.3			
	Gold recovery plants		max	91.3			577	263					9.6					3.2			184			
			min	88.6			272	144					0.6					0.4			103			
	Simple house workshops		max	126			1641	519					12.5					654			2374			
			min	40.5			362	221					2.8					1.7			200			
Guangdong, China	Vegetable garden		max	19			450	142					1.17								134			14
			min	9.66			210	92.4					0.26								73.3			
	Paddy field		max	24.1			260	252					1.43								97			
			min	10.5			40.1	62.1					0.04								48.1			
	Incineration site		max	122			21,400	8970					46.8								7720			
			min	23.6			1500	692					3.05								629			
			max	11.1			95.4	72.3					0.39								69.2			
	Deserted soil		min	3.84			49.9	44.5					0.08								47.2			
			max	105			12,900	3800					18.3								7760			
			min	14			142	123					0.57								37.9			
Netherlands standard	Target values			42	100		9	36	140	29	0.7	3						3	160	0.3	1	85		10
	Intervention values			250	380		240	190	720	55	100	200	15			900	15	625	10	15	530			
Vietnam- standard	Agricultural soil						50	200													70			11

Table 4. 大気粉塵中微量元素レベルの地域比較

Country	location		V	Cr	Mn	Co	Cu	Zn	As	Se	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	Bi	Reference	
Vietnam																						
	TH (2008), <PM7	concentration	7.46	6.83	61.0	0.261	22.1	628	29.8	10.6	168	6.12	0.184	11.6	8.18	2.53	0.018	1.63	163	4.66		This study
	HN1 (2008), <PM7	concentration	10.6	13.8	212	1.07	20.9	488	31.9	13.9	188	7.81	0.249	14.3	32.7	51.0	0.031	2.00	207	5.74		
	TM (2008), <PM7	concentration	8.48	6.28	135	0.534	29.8	639	42.4	11.1	155	8.63	0.306	15.2	14.8	6.93	0.056	2.22	300	7.93		
	BD1 (2008), <PM7	concentration	19.0	3.81	179	0.574	31.3	493	35.5	14.8	148	7.59	0.340	38.3	21.3	12.9	0.065	1.88	300	5.20		
This study																						
	DQ (2010), <PM7	concentration	5.03	16.4	250	0.644	33.5	1673	42.3	21.2	169	13.9	0.399	15.6	13.1	19.50	0.228	3.38	302	5.94		
	HN (2010), PM 7	concentration	38.9	32.7	546	5.839	62.0	836	81.5	20.7	6.62	13.1	0.513	20.5	36.5	1970	0.481	4.85	458	54.1		
	BD2 (2010), <PM7	concentration	20.8	5.92	283	2.652	33.7	1716	40.5	9.76	6.04	6.12	0.261	14.6	25.5	1805	0.768	3.32	281	51.6		
	BD3 (2010), <PM7	concentration	22.1	8.65	451	3.331	59.4	795	63.3	11.9	3.76	11.4	0.467	33.9	52.8	1747	0.277	3.94	337	50.0		
	DM1(2010), <PM7	concentration	9.95	5.26	178	0.576																

value と target value の 2 種類の基準を設けているが、とくにリスクが高いと考えられる intervention level を超過したのは、DM における Pb と Sb であった。この結果は、Pb バッテリーリサイクル場における Pb と Sb の汚染は深刻なレベルにあることを示唆している。他の元素では、e-waste リサイクル地域における Ba の値が、オランダの基準における target value を超過する傾向がある。また Cd や Tl の濃度は target value に匹敵するケースもある。Zn は TH、DM において、約 50% の試料がオランダの target value やベトナムの基準値を超過し、BD では intervention value を超過した試料もあった。他にも、DM における As など、一部の試料において intervention value を超過するケースも認められた。

粉塵試料：大気粉塵中微量元素濃度を e-waste リサイクル地域と都市の対照地域 (HN) で比較したところ、e-waste の手作業解体処理が実施されていた TM と BD において、Hg、Pb、Cu、As、Zn、In、Sn 濃度が高値を示した (Table 4)。また、バッテリーリサイクル地域 (DM) では、ほとんどの微量元素が HN よりも高値であり、とくに Pb、Ag、Sb、Sb、Cu、Hg、Zn、In、As、Se、Cd、V、Tl、Co は顕著な高濃度で検出された。

ハノイ市周辺で得られた濃度を、中国の e-waste リサイクル地域である Guiyu の粉塵で得られた値と比較したところ (Leung et al. 2008)、粒子サイズの違いを考慮する必要があるものの、DM で得られた試料 (DM2) 中の Mn、Cu、Zn、Pb、Ba は Guiyu よりも著しく高値を示した。このことから、DM 住民の大気経路での微量元素曝露が懸念された。

C-2 XAFS 分析

バンガロール地域の土壌中 Cu、Zn、Sn の K 吸収端 XANES スペクトルを解析したところ、各金属について、測定した 4 試料全てで同一の XANES スペクトルが得られた (Fig. 2)。この結果は、e-waste 処理場周辺の各重金属の形態がほぼ同一とみなしてよいことを示している。

Sn は、形態によっては強い毒性を示す元素であり、有機スズ化合物の minimum risk level (MRL、ATSDR 推奨値) は、無機スズ化合物の 1/100 - 1/1000 である。バンガロール地域の平均土壌中 Sn 濃度は、対照地域と比較して約 40 倍高値であり、リスク評価に先立ち形態分析が必要である。Sn の XAFS スペクトルを解析した結果、SnCl₂ のスペクトルとほぼ一致したため、毒性の低い無機態の Sn が主体であることが示唆された (Fig. 2)。これは、はんだなどに合金として含まれる Sn が土壌中へ移行したものと考えられる。無機 Sn の RfD 値に基づき算出した HI 値は < 0.002 であり、Sn の曝露による健康影響はほとんどないと考えられた。

Dong Mai 地域の土壌では、Sb の顕著な濃集が認められた。Sb の XANES スペクトルを解析したところ、80% 以上が Sb₂O₃ として存在することが推察された (Fig. 2)。Sb₂O₃ は主に難燃剤・触媒として使用され、近年重要量が増加している。また、酸化数が +5 価のアンチモン化合物と比較すると、Sb₂O₃ の毒性は強いことが知られている。Sb は、USEPS の提示

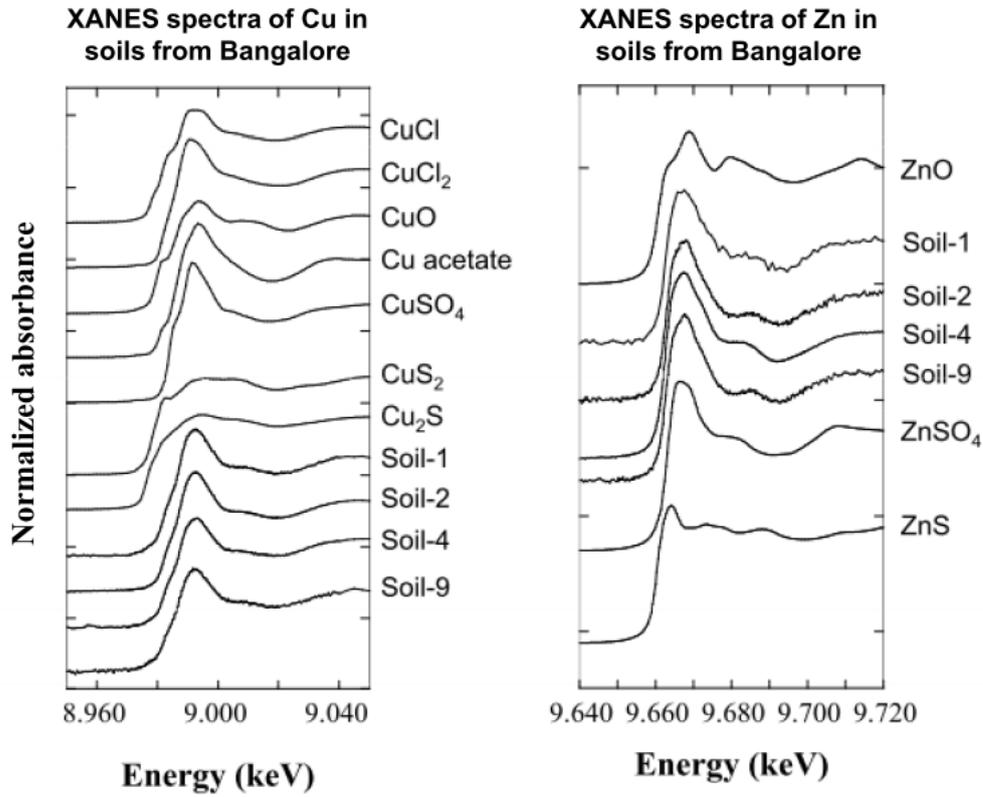


Figure 2 Bangalore 土壤中の銅と亜鉛のK吸収端XANESスペクトル

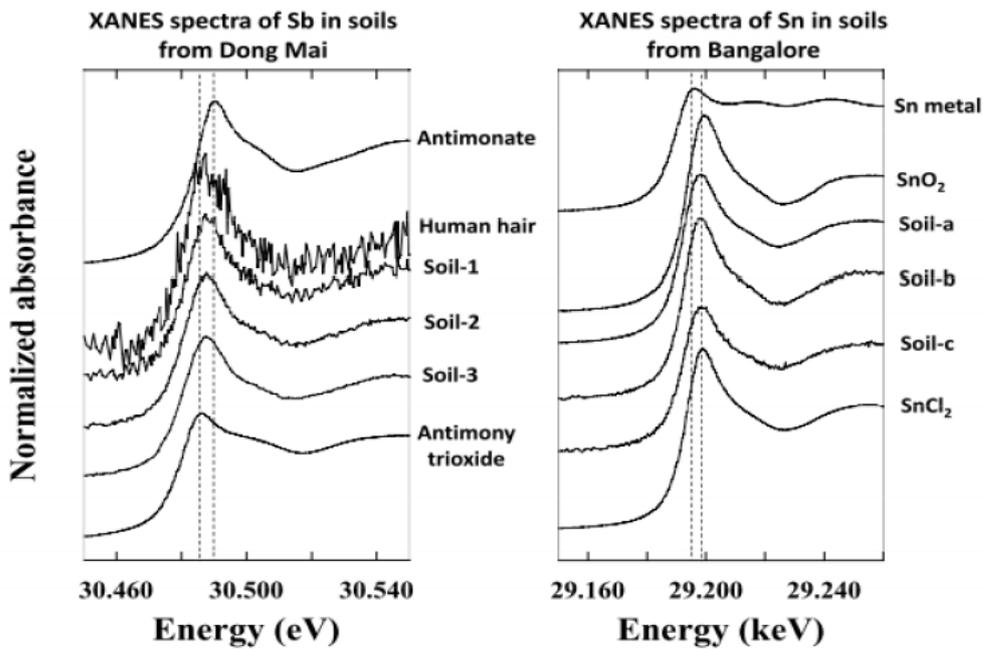


Fig. 2 Bangalore および Dong Mai 土壤中の Cu, Zn, Sb, Sn の XANES スペクトル

する RfD 値のリストでは、総 Sb の経口摂取と Sb_2O_3 の吸入摂取の値が与えられており、それぞれ 0.0004 mg/kg/day と、0.0002 mg/m³ となっている。ただし、総 Sb の RfD 値は不確実係数 (UF) 1000 を乗して得られており、UF = 300 の Sb_2O_3 と比較してリスク評価における不確かさが大きい。すなわち、形態分析を実施することで、より適切なハザード比を算出することが可能となった。

C-3 リスク評価

土壌中最大微量元素濃度に基づき HQ、HI を算出したところ、バンガロール地域においては、子供に対する Cr、Cu、As の HQ が 0.5 を超過し、HI 値は 3.5 であった。一方 Dong Mai 地域においては、Cr、As、Sn、Sb、Pb の HQ が 0.5 を超過し、HI 値は 8.1 であった。各地域で HI 値が 1 を超過したことから、これらの地域住民への健康影響が危惧される。しかし、この算出法では各 HQ 値を単純に加算しているため、複合暴露の影響を考慮できない。そこで、単純加算型の HI(HI_{add})の他に、標的器官毒性当量を用いた HI(HI_{TTD})および毒性物質間の相互作用を考慮した HI(HI_{int})を算出し、その結果を比較した。その結果、HI_{add} は常に HI_{TTD} よりも高い値となることが示された。このことは、単純加算型の HI 算出法では、複合暴露リスクを過大評価する傾向にあることを示唆している。また、HI_{int} は最大で 1.8 倍程度 HI_{TTD} よりも高い値となることが分かった。これは主に As・Mn と Pb の同時暴露による Pb 毒性の相乗効果に由来することが示された。このように、様々な汚染物質が複合的に暴露する e-waste のような環境では、リスク評価の際にも関連因子を丁寧に吟味することが望ましいと考えられる。

D. 第4章第1節 結論

本課題を通じて、e-waste 処理に従事する住民への重金属暴露リスクが示唆された。e-waste 処理が途上国で活発化したのは比較的近年であり、今後はこれまで先進国で見られた重金属汚染とは異なる影響が発生する可能性もある。したがって、これまでに蓄積されたデータを精査することで、新しいリスクを探索・予見し、関連機関に提示していく必要がある。例えば、本研究の結果から、Pb バッテリー処理場では、Pb の他に Sb 暴露の影響が懸念されるが、Pb と Sb の複合暴露影響については、基礎的な知見が不足している。したがって、このような環境の調査においては、確立されたモニタリングスキームの実施に留まらず、適宜詳細な形態分析やデータ解析を適用し、新たなリスク評価法を提示することが重要である。

第4章第2節 鯨類を用いた海洋の環境モニタリング

E. 研究方法

E-1 試料採取

沿岸性鯨類 1 種 (ネズミイルカ (harbour porpoise; *Phocoena phocoena*))、外洋性鯨類 2 種 (ス

ジイルカ (striped dolphin; *Stenella coeruleoalba*)、カズハゴンドウ (melon-headed whale; *Peponocephala electra*) を分析に供試した。採取地点を Fig.3 に示す。

ネズミイルカ (harbour porpoise; *Phocoena phocoena*)

1985 年から 2010 年の間、北海道、青森および秋田で座礁および混獲されたネズミイルカの肝臓 45 試料 (オス 32 検体、メス 11 検体、不明 2 検体)、脳 30 試料 (オス 23 検体、メス 7 検体、不明 2 検体) を分析に供試した。

スジイルカ (striped dolphin; *Stenella c. coeruleoalba*)

1977 年から 2004 年にかけて千葉、神奈川、静岡、和歌山および愛媛で座礁および混獲したスジイルカの肝臓 48 試料 (オス 25 検体、メス 17 検体、不明 6 検体)、脳 21 試料 (オス 11 検体、メス 10 検体) を分析に供試した。

カズハゴンドウ (melon-headed whale; *Peponocephala electra*)

1982 年から 2011 年にかけて茨城県、千葉県、静岡県、宮崎県で座礁したカズハゴンドウの肝臓 69 試料 (オス 37 検体、メス 32 検体)、脳 36 試料 (オス 14 検体、メス 18 検体、不明 4 検体) を分析に供試した。

E-2 化学分析

E-2-1 微量元素分析

元素分析は既報 (Anan et al. 2001) に従ったが、試薬の量を一部変更した。試料は分析時まで -20°C で保存し、分析時に常温で解凍、切り出しの後、80°C で 16 時間乾燥させ粉砕した。粉末試料約 0.2 g をテフロン製バイアルに秤量し、超微量分析用硝酸 (和光純薬工業株式会社) 3.5 ml を加えマイクロ波加熱分解処理 (Ethos D, Milestone S.r.l., Sorisole, BG, Italy) 後、超純水 (Milli-Q Integral3: Millipore, Japan) で約 50 g に定容した。Li、Mg、Al、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Mo、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Cs、Ba、Tl、Pb、Bi の 28 元素は誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS: Agilent 7500 Agilent Technologies, Japan) を用いて定量した。プラズマの揺らぎによる感度の変動を避けるため、内部標準試料として Y を用いた。Hg は冷炎気化—原子吸光光度計 (CV-AAS: HG-450 Hiramuma, Japan) を用いて測定した。

本分析の精度および確度は、標準試料 (Oyster tissue, DOLT-3) を用いて確認した。微量元素濃度はすべて乾燥重量 ($\mu\text{g/g dry wt.}$) で表示した。検出限界値は Hg が 0.05、Se、Sn、Sb、Cs は 0.01、その他の元素は 0.001 $\mu\text{g/g dry wt.}$ であった。

E-2-2 有機水銀分析

有機水銀の分析は Thopson and Furness (1989) による方法を一部改良して行った。微量元素

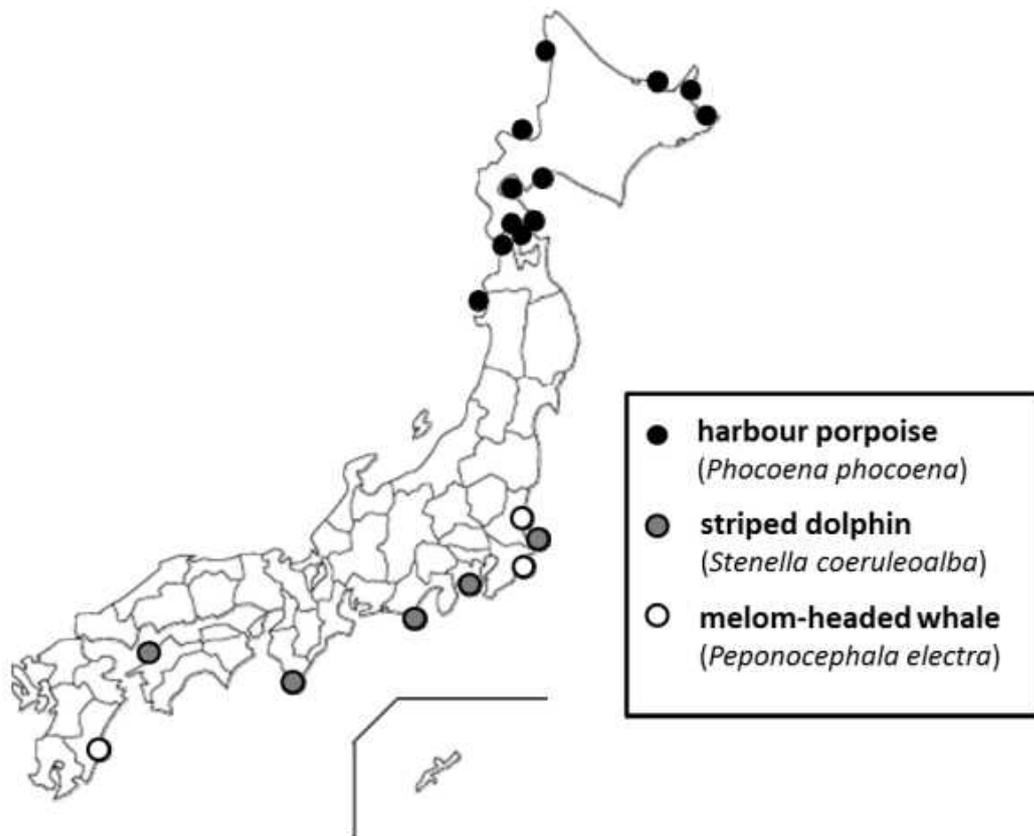


Fig. 3 鯨類試料採取地域

分析に用いた粉末試料約 0.2 g を定秤し、0.1 M CuSO_4 水溶液 10 ml、3 M NaBr 水溶液 5 ml、トルエン 10 ml を加えた。その後 20 分間振とうし、さらに 10 分間の遠心分離 (2500 rpm) 後、トルエン層と水層に分離した。トルエン層を 5 ml 分取し、0.005 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液 2 ml を加えて振とう後、10 分間遠心分離 (150 rpm) して水層とトルエン層を分離し、トルエン層を除去した。残余の水層に石油エーテル 2 ml を加え、振とう・遠心分離後、石油エーテルを除去した。さらに 60°C の湯槽内に約 2 時間静置し、完全にトルエンと石油エーテルを除去した。抽出液をテフロン製バイアルに入れ、超微量分析用硝酸 (和光純薬工業株式会社) 5 ml を加えてマイクロ波加熱分解処理 (Ethos D, Milestone S.r.l., Sorisole, BG, Italy) を行い、超純水 (Milli-Q Integral3: Millipore, Japan) で約 50 g に定容して冷炎気化—原子吸光光度計 (CV-AAS: HG-450 Hiranuma, Japan) で測定した。

分析の精度は、標準試料 (DOLT-3, National Research Council Canada) を用いて確認した。有機水銀濃度は乾燥重量 ($\mu\text{g/g dry wt.}$) で表示し、検出限界値は 0.01 $\mu\text{g/g dry wt.}$ であった。

E-3 統計解析

統計解析は、元素濃度の雌雄差や 2 群間の差は Mann-Whitney の U 検定を、元素濃度と年齢および体長や、元素間の相関係数は Spearman の順位相関係数を用いて解析した。経年変

動解析では生物学的要因（年齢、体長および性差など）と相関する微量元素は、これら影響を除外するために重回帰分析を用い、従属変数には常用対数に変換した微量元素濃度を、独立変数には生態学的要因と試料採取年を組み込んだ重回帰モデルを構築して解析した。微量元素濃度の測定値が検出限界値以下であった検体は除外し、統計解析をおこなった。有意水準は $p<0.05$ とした。

F. 結果および考察

F-1 微量元素の蓄積特性

微量元素汚染の経年変動を精緻に解析するには、生物種の蓄積特性を理解する必要がある。何故なら、バイオメトリーや性、成長段階などの生物学的要素と蓄積レベルとの間に相関が認められる場合、経年変動を解析する際にこれらのパラメーターが交絡因子として影響を及ぼすからである。そこで、体長（成長段階）および雌雄と微量元素蓄積レベルの関係の関係を解析した。

F-1-1 体長（成長段階）と微量元素蓄積レベルの関係

本研究に供試したすべての検体は年齢が未同定であることから、成長の指標として体長に注目し、微量元素濃度との関係を解析した。その結果、体長と肝臓中元素濃度との間に有意な正の相関が認められた元素は、ネズミイルカにおいて V、Co、Ni、Se、Mo、Cd、T-Hg、O-Hg、Tl（Fig. 4）、スジイルカでは、V、Se、Mo、Ag、In、Sn、T-Hg、O-Hg、Pb（Fig. 5）、カズハゴンドウでは Cu、Se、Ag、In、Sn、T-Hg、O-Hg、Pb であった（Fig. 6）。一方、体長と負の相関を示した微量元素は、スジイルカで Mn、Zn（Fig.5）、カズハゴンドウで Mn、Co、Rb であった（Fig. 6）。先行研究によれば、鯨類に蓄積している V、Se、Ag、Sn、T-Hg は年齢蓄積性を示すことが明らかにされており（Agusa et al. 2008）、本研究は過去の報告と一致した。また生体内における Rb の必須性は明らかにされていないが、その物理化学的性質は同族元素の K と類似しており、生体内では K^+ と拮抗して存在することが知られている。またシワイルカの肝臓中 Rb と K 濃度が有意な正の相関を示したとの報告もある。（Mackey et al., 2003）。一般に K は成長に伴い濃度減少を示す元素であることから、Rb も同様の挙動を示したものと考えられる。事実、Rb が加齢に伴い減少することを鯨類で観察した報告がある（Kunito et al. 2004）。

本研究で測定したいくつかの元素は、体長と相関を示さなかった。これらの元素は体内のホメオスタシスにより、成長とは無関係に一定の濃度を維持することが考えられ、主として必須元素で認められる。一方で、体長と正の相関を示した元素、すなわち成長に伴い蓄積する元素の存在が明らかとなった。摂餌により体内に蓄積される Cd や O-Hg などの毒性元素は体長の大きい個体ほど高蓄積していることから、そのリスクが懸念されるとともに、経年変動を解析する場合配慮が必要と考えられた。

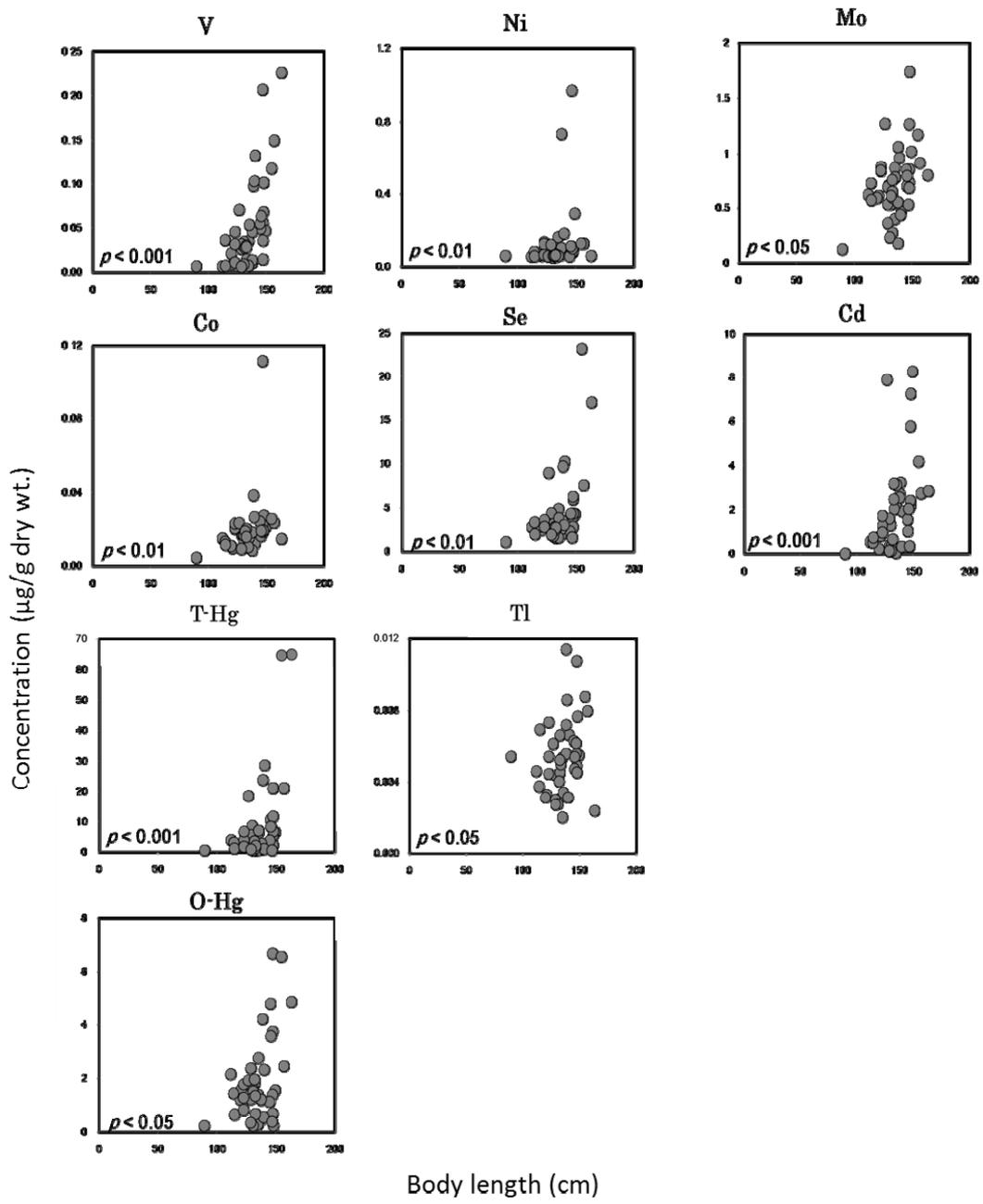


Fig. 4 ネズミイルカの肝臓中微量元素濃度の体長依存性

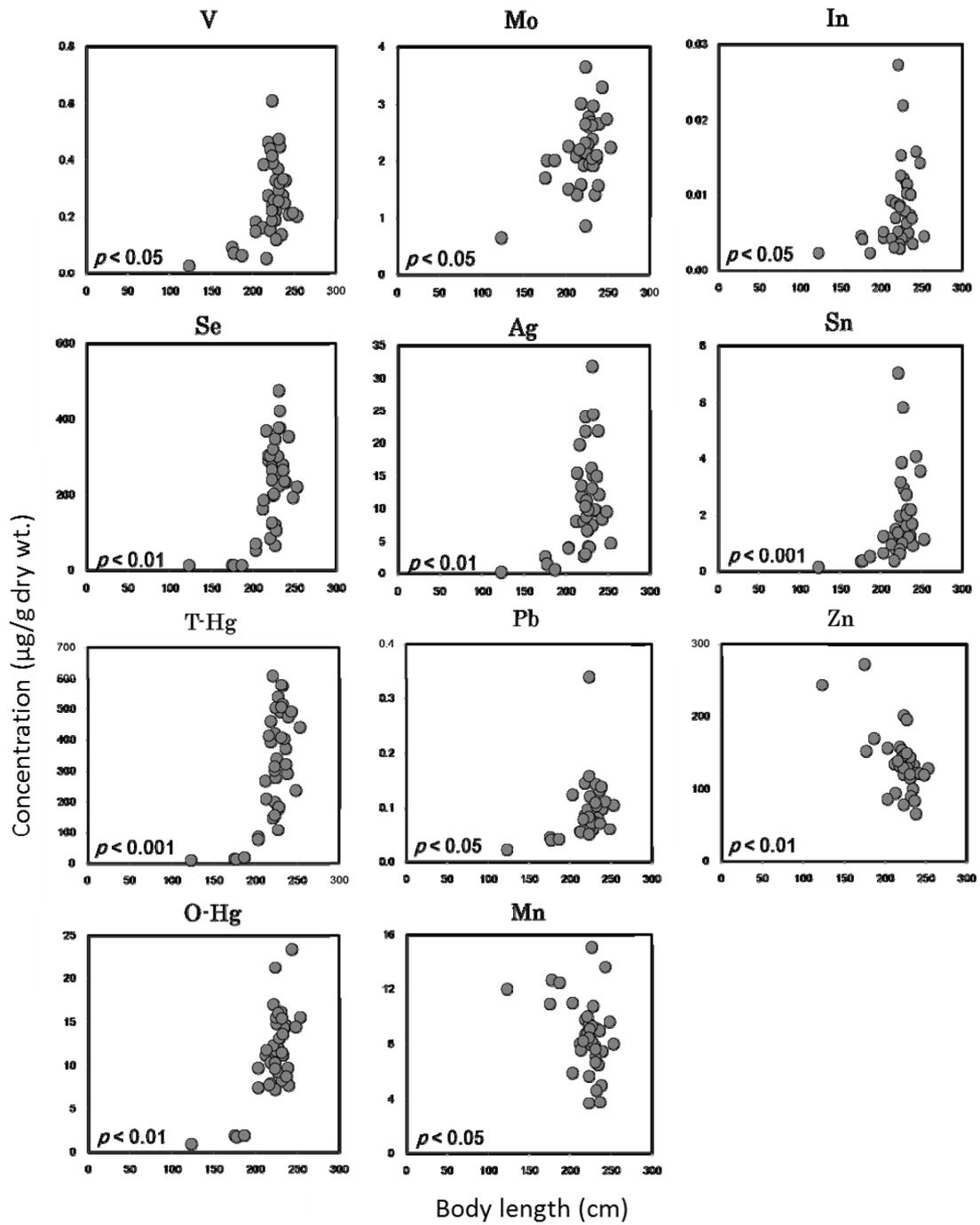


Fig. 5 スジイルカの肝臓中微量元素濃度の体長依存性

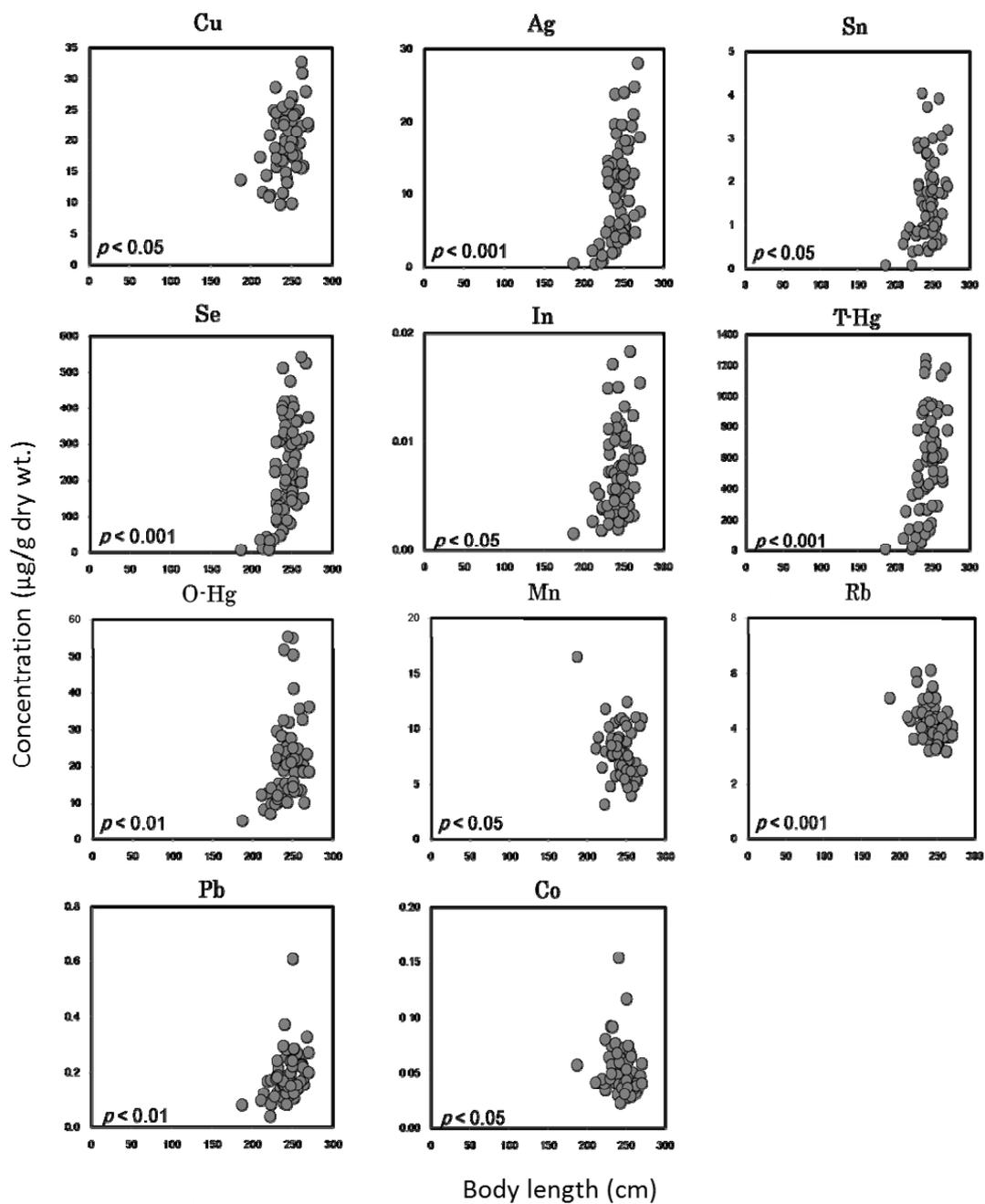


Fig. 6 カズハゴンドウの肝臓中微量元素濃度の体長依存性

F-1-2 微量元素蓄積レベルの雌雄差

微量元素濃度の雌雄差を解析したところ、肝臓ではネズミイルカの Co と Bi (Fig. 7)、スジイルカの Tl (Fig. 8)、カズハゴンドウの Cd (Fig. 8)のみ有意差を示した (Mo、Bi; メス<オス、 $p < 0.05$ 、Tl; メス>オス、 $p < 0.05$ 、Cd; メス>オス、 $p < 0.01$)が、大半の元素で有意な雌雄差は認められなかった。スジイルカ (Monaci et al. 1998, Capelli et al. 2000, Agusa et al. 2008)、カズハゴンドウ (Endo et al. 2008)の微量元素 について解析した過去の報告でも、明瞭な雌雄差はみられていない。また、沿岸性の小型鯨類スナメリでは未成熟個体の雌で Cu の有意な高値が報告されているが、その他の元素では性差は認められていない (未発表)。したがって鯨類における微量元素濃度の雌雄差は、一部の例外を除いて明確でないことが推測され、経年変動解析の際ほとんど考慮する必要はないと考えられた。

F-2 微量元素濃度の経年変動解析

F-1-1 で示したとおり、Hg などの一部の微量元素は成長に伴う濃度上昇、すなわち年齢蓄積性を示すことが明らかとなった。そこで、体長による交絡作用を除外するため、従属変数には常用対数に変換した濃度を、独立変数には体長 (Yr) と試料採取年(Yr) を組み込んだ重回帰モデルを構築した。

$$\text{Log[濃度]} = \beta_1 \times \text{BL} + \beta_2 \times \text{Yr}$$

BL = 体長、Yr = 経年、 β = 偏回帰係数

体長相関に加え性差も認められた微量元素は、性差をダミー変数として導入し重回帰モデルを構築した。

$$\text{Log[濃度]} = \beta_1 \times \text{BL} + \beta_2 \times \text{Yr} + \beta_3 \times \text{Sx}$$

BL = 体長、Yr = 経年、Sx = 性差(ダミー変数)、 β = 偏回帰係数

また、本研究では視覚的な理解を促すため、実測濃度のほかに各鯨類の平均体長における計算値も図中にプロットした。

体長相関および性差が認められない微量元素は回帰モデルにより経年変動を解析した。

$$\text{Log[濃度]} = \beta_1 \times \text{Yr}$$

F-2-1 Hg

総水銀 (T-Hg) および有機水銀 (O-Hg) を解析した結果、ネズミイルカの T-Hg および O-Hg は有意な経年上昇を示さなかった (Fig.9)。日本近海の平均海水中濃度は 4.3ng / kg で 1986 年以降同レベルで推移していることが報告されている (気象庁 2010)。このことは、日本沿岸における Hg の排出量や汚染が 1986 年以降大きく変化していないことを暗示しており、ネズミイルカで得られた結果は海水調査の報告を支持している。わが国における Hg の環境排出は 1980 年代以降厳しく規制されていることから、日本沿岸に生息するネズミイ

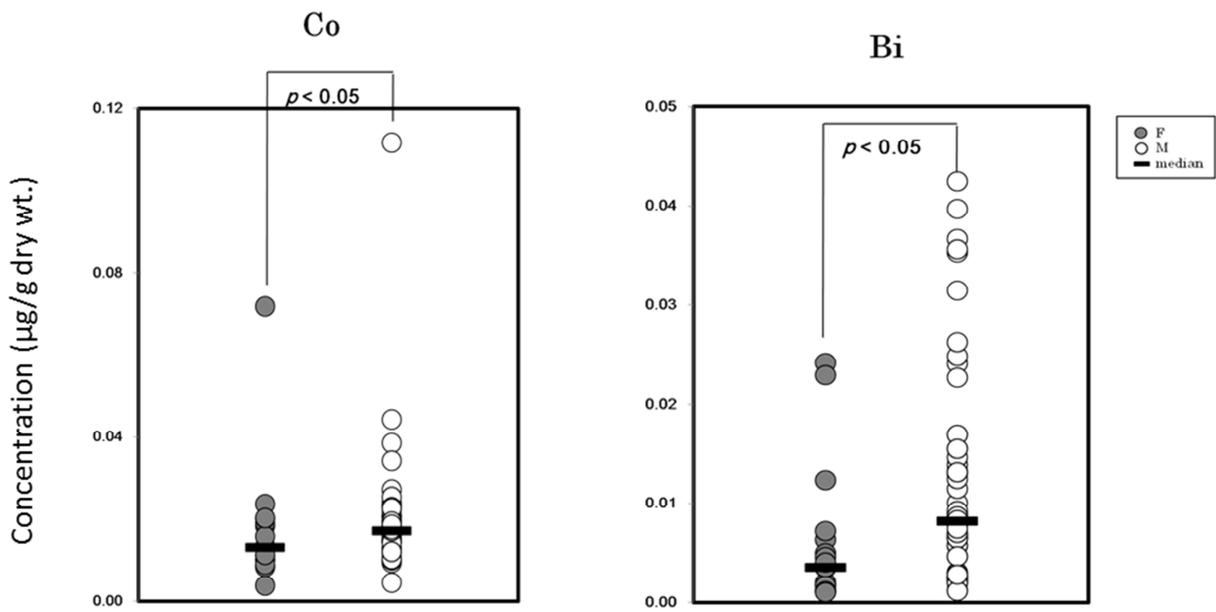


Fig. 7 ネズミルカの肝臓中微量元素濃度の性差

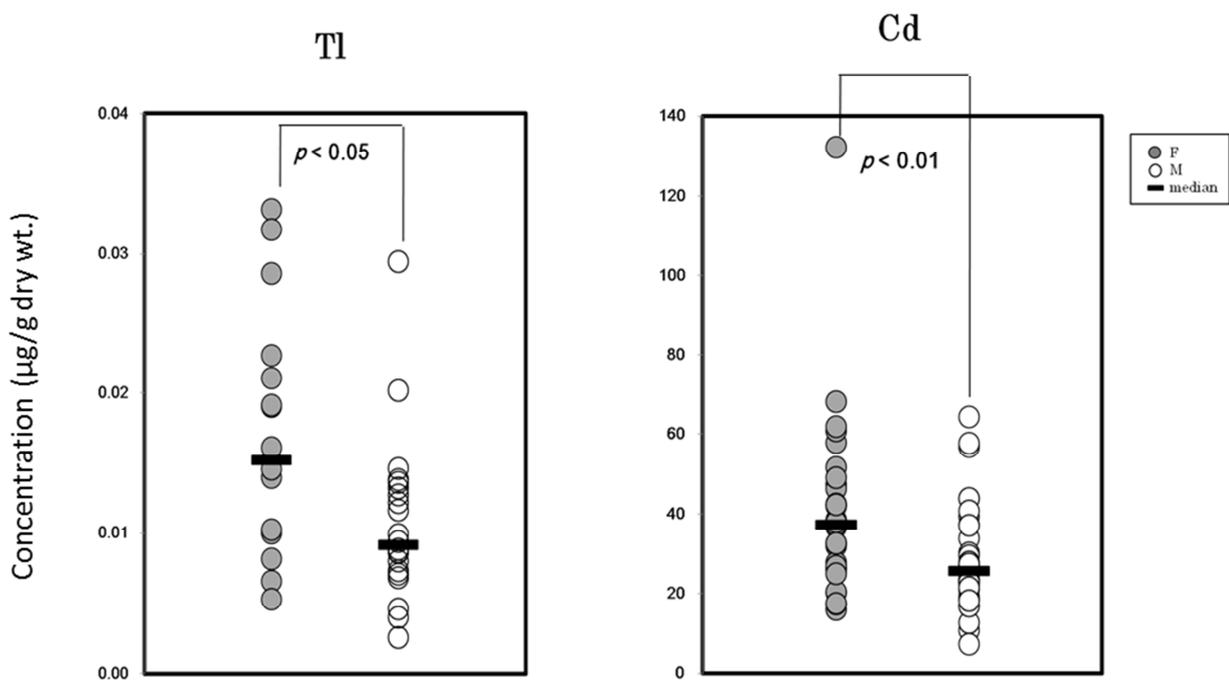


Fig. 8 スジイルカの肝臓中微量元素濃度の性差

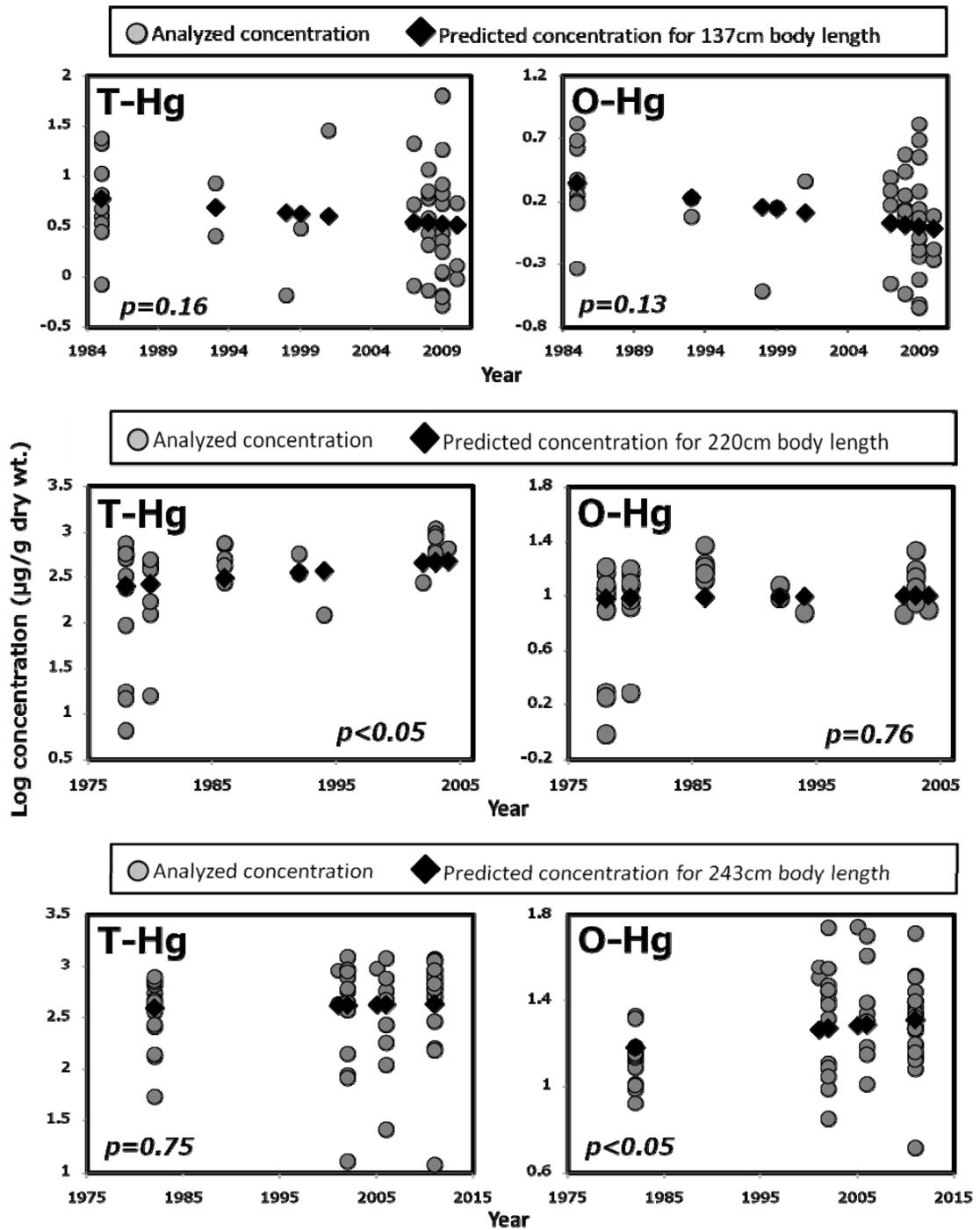


Fig. 9 ネズミイルカ、スジイルカ、カズハゴンドウの肝臓中総水銀および有機水銀濃度の経年変動

ルカや海水の汚染レベルに変動が認められなかったものと推測される。

回帰式

ネズミイルカ

$$\text{Log [T-Hg]} = 0.0201 \times [\text{BL}] - 0.0103 \times [\text{Yr}] + 18.52 \quad (R^2=0.27)$$

$$\text{Log [O-Hg]} = 0.0111 \times [\text{BL}] - 0.0143 \times [\text{Yr}] + 27.28 \quad (R^2=0.25)$$

一方、外洋域に生息するスジイルカでは T-Hg (Fig.9)、カズハゴンドウでは O-Hg で経年的に有意な濃度上昇が認められた (Fig.9)。近年、人間活動や産業活動、とくに化石燃料の使用による Hg の大気放出量は著しく、その人為起源放出量の 54% はアジア域に由来することが報告されている (Pacyna et al. 2010)。大気中に放出された Hg は最終的に海洋に到達する。極域の堆積物コアや北太平洋の海水調査では、Hg レベルの上昇が報告されており、地球規模での海洋汚染の進行が示唆されている (Sunderland et al. 2009)。したがって生体内の Hg レベルの上昇も懸念されるが、本研究により 2 種の外洋性小型鯨類で Hg の経年的上昇を認めたことは、外洋域の海水のみならず生態系の汚染も確実に進行していることを示しており、東アジアの Hg 排出規制を一層強化する必要がある。最近の研究で、カナダ北極域に生息するシロイルカやホッキョクグマでも Hg レベルの上昇が明らかにされたことは (Dietz et al. 2011; Lockhart et al. 2005)、生物の Hg 汚染が急速に広域化していることを示唆しており、2013 年の水銀条約の締結に向けて基礎情報を充実させる必要がある。

回帰式

スジイルカ

$$\text{Log [T-Hg]} = 0.0189 \times [\text{BL}] + 0.0104 \times [\text{Yr}] - 22.46 \quad (R^2=0.76)$$

$$\text{Log [O-Hg]} = 0.0110 \times [\text{BL}] + 0.0001 \times [\text{Yr}] - 3.05 \quad (R^2=0.27)$$

カズハゴンドウ

$$\text{Log [T-Hg]} = 0.0189 \times [\text{BL}] + 0.0012 \times [\text{Yr}] - 4.39 \quad (R^2=0.41)$$

$$\text{Log [O-Hg]} = 0.0058 \times [\text{BL}] + 0.0044 \times [\text{Yr}] - 8.98 \quad (R^2=0.26)$$

F-2-2 その他の微量元素

ネズミイルカにおける微量元素濃度の経年変動を解析した結果、Li、Ca、Cu、Ga、As、Sr、Ba で有意な経年的上昇が認められた (Li; $p < 0.01$ 、Ca; $p < 0.001$ 、Cu; $p < 0.01$ 、Ga; $p < 0.05$ 、As; $p < 0.01$ 、Sr; $p < 0.05$ 、Ba; $p < 0.05$)。一方、Cr、Sn は有意な経年的減少を示した (Cr; $p < 0.05$ 、Sn; $p < 0.001$) (Figs.10)。これら微量元素の中には、生産量や需要量が増加しているものがあり、北日本沿岸では、これら元素の動向を監視する必要がある。一方、外洋域に生息するスジイルカにおいて、Ag は有意な経年的上昇、Mo、Mn、Zn は有意な経年的減少を示した。

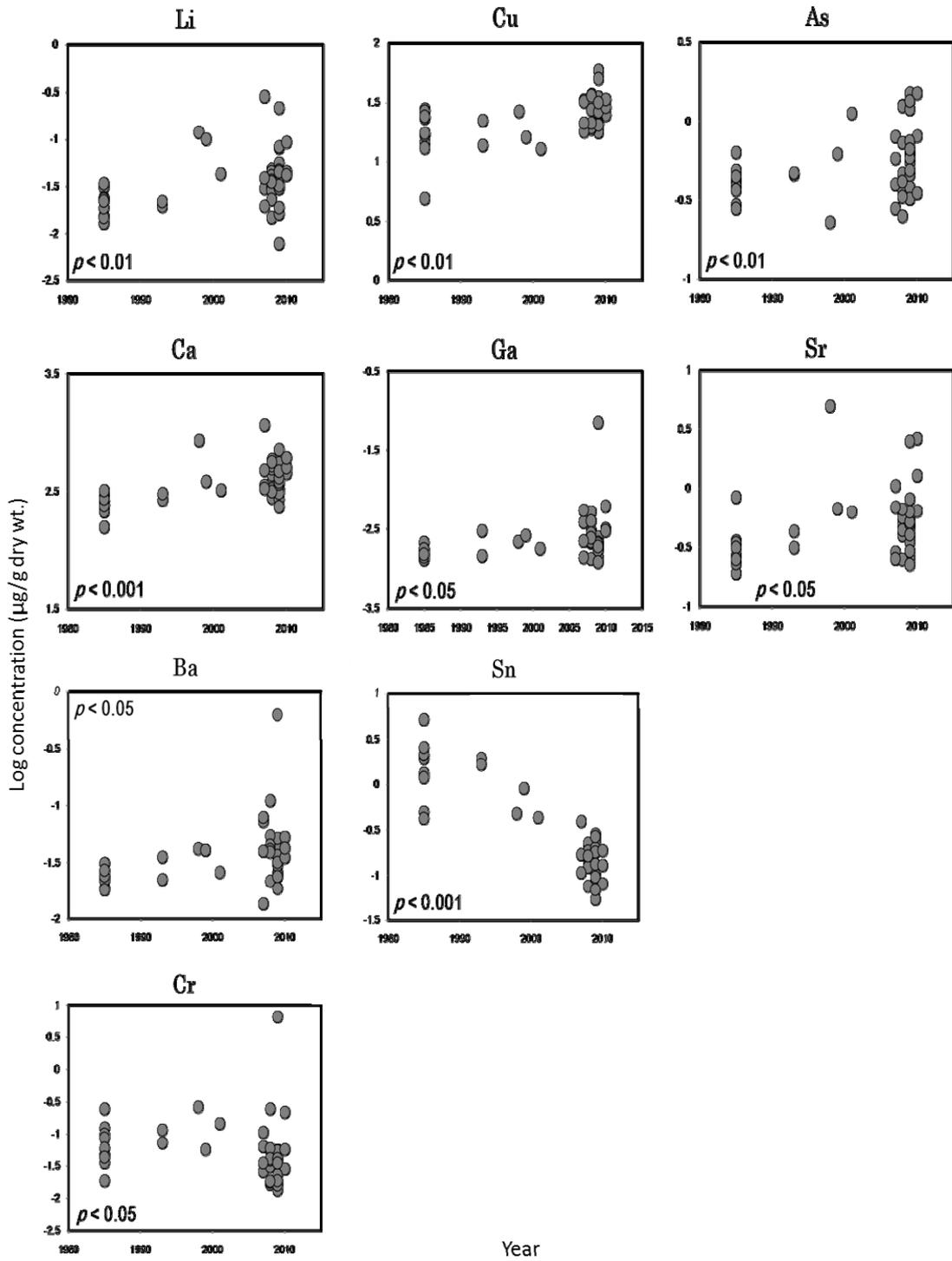


Fig. 10 ネズミルカの肝臓中微量元素濃度の経年変動

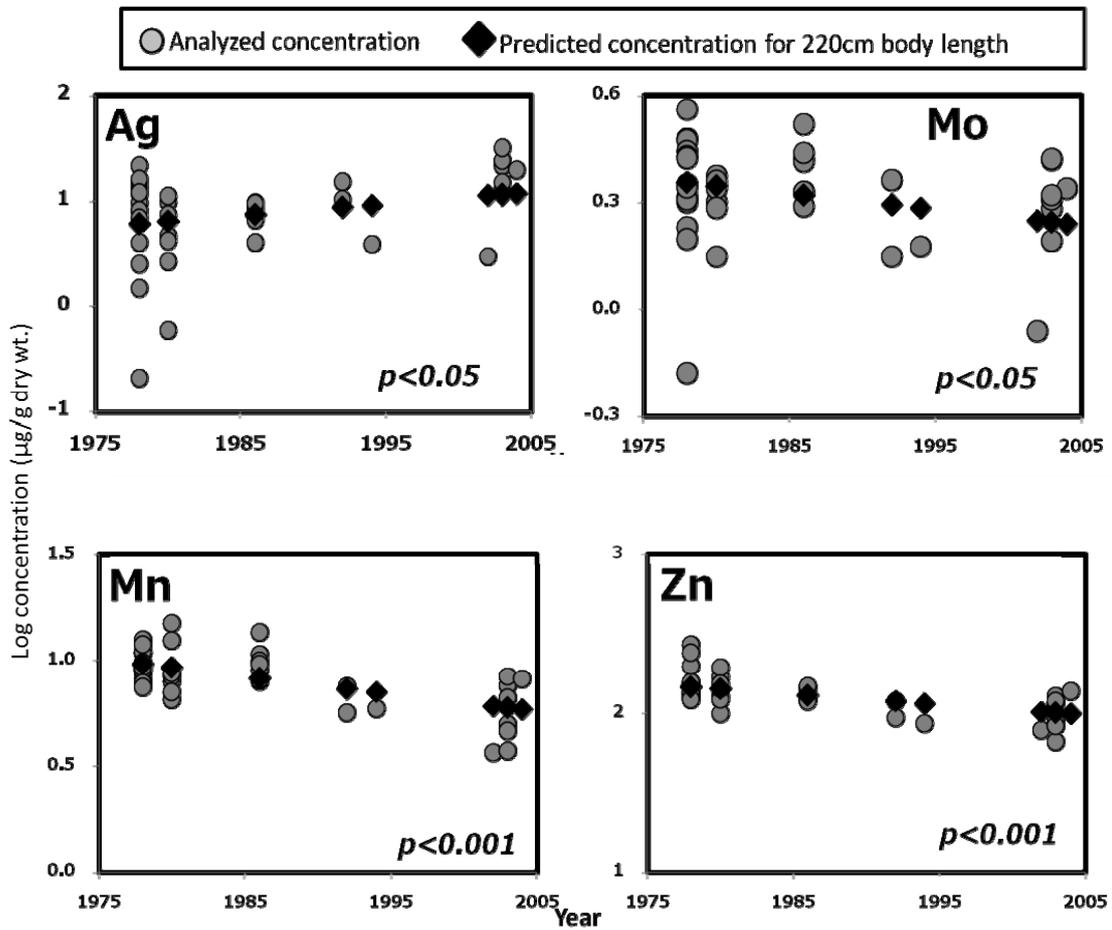


Fig. 11 スジイルカの肝臓中微量元素濃度の経年変動

(Ag; $p < 0.05$ 、Mo; $p < 0.05$ 、Mn; $p < 0.001$ 、Zn; $p < 0.001$)(Fig.9)。

$$\text{Log [Ag]} = 0.0130 \times [\text{BL}] + 0.0110 \times [\text{Yr}] - 23.97 \quad (R^2=0.61)$$

$$\text{Log [Mo]} = 0.0038 \times [\text{BL}] - 0.0044 \times [\text{Yr}] + 8.25 \quad (R^2=0.39)$$

$$\text{Log [Mn]} = -0.0013 \times [\text{BL}] - 0.0082 \times [\text{Yr}] + 17.61 \quad (R^2=0.45)$$

$$\text{Log [Zn]} = -0.0064 \times [\text{BL}] - 0.0022 \times [\text{Yr}] + 15.48 \quad (R^2=0.55)$$

体長と相関を示さなかった元素の中ではLi、Al、Ca、Feが有意な経年的上昇を示し(Li; $p < 0.05$ 、Al; $p < 0.05$ 、Ca; $p < 0.01$ 、Fe; $p < 0.01$)、Mg、Co、Rb、Csは有意な経年的減少を示した(Mg; $p < 0.05$ 、Co; $p < 0.05$ 、Rb; $p < 0.01$ 、Cs; $p < 0.05$)(Figs 11, 12)。

カズハゴンドウにおいて、体長と相関を示した元素の中ではCu、Se、Ag、Pbが有意な経

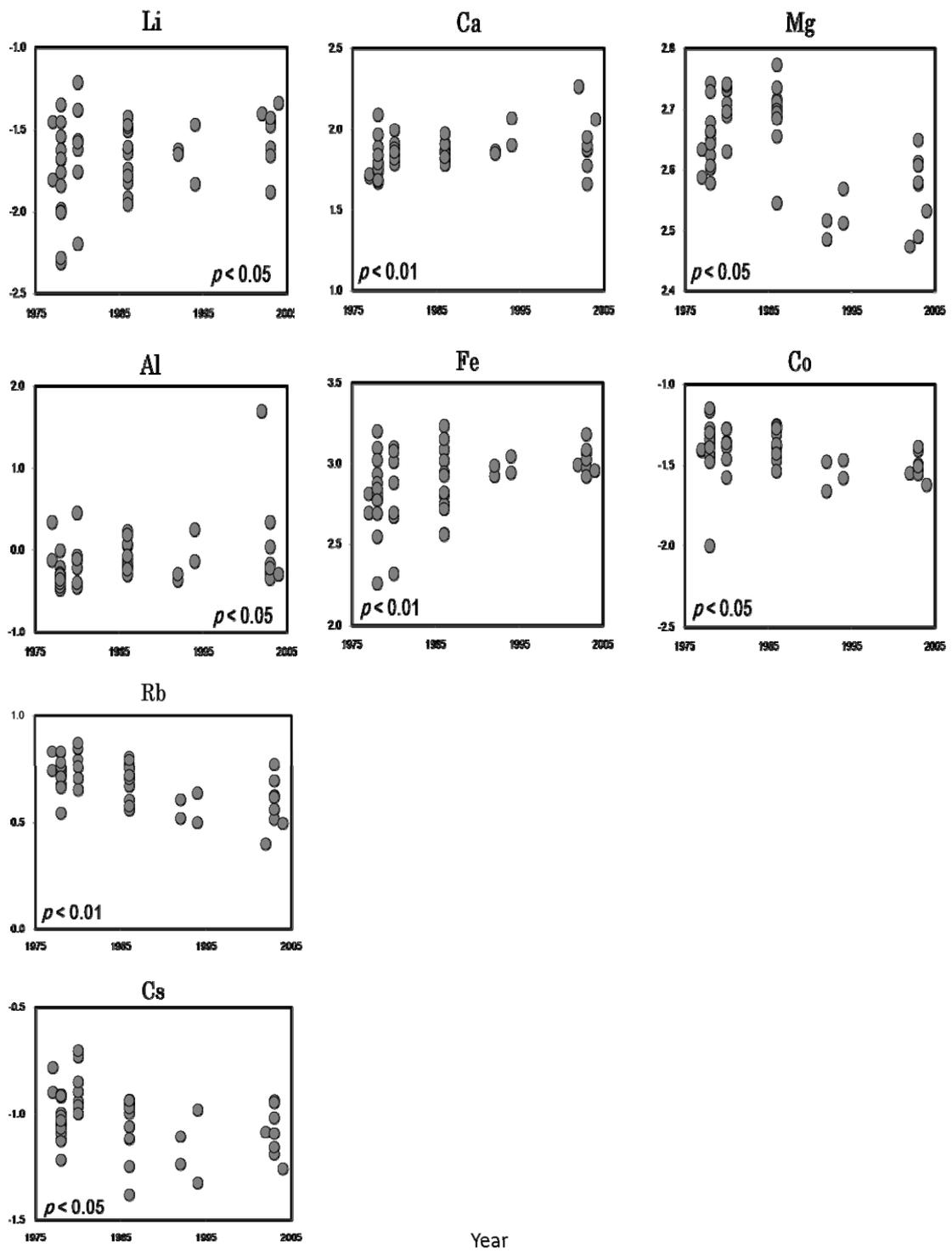


Fig. 12 スジイルカの肝臓中微量元素濃度の経年変動

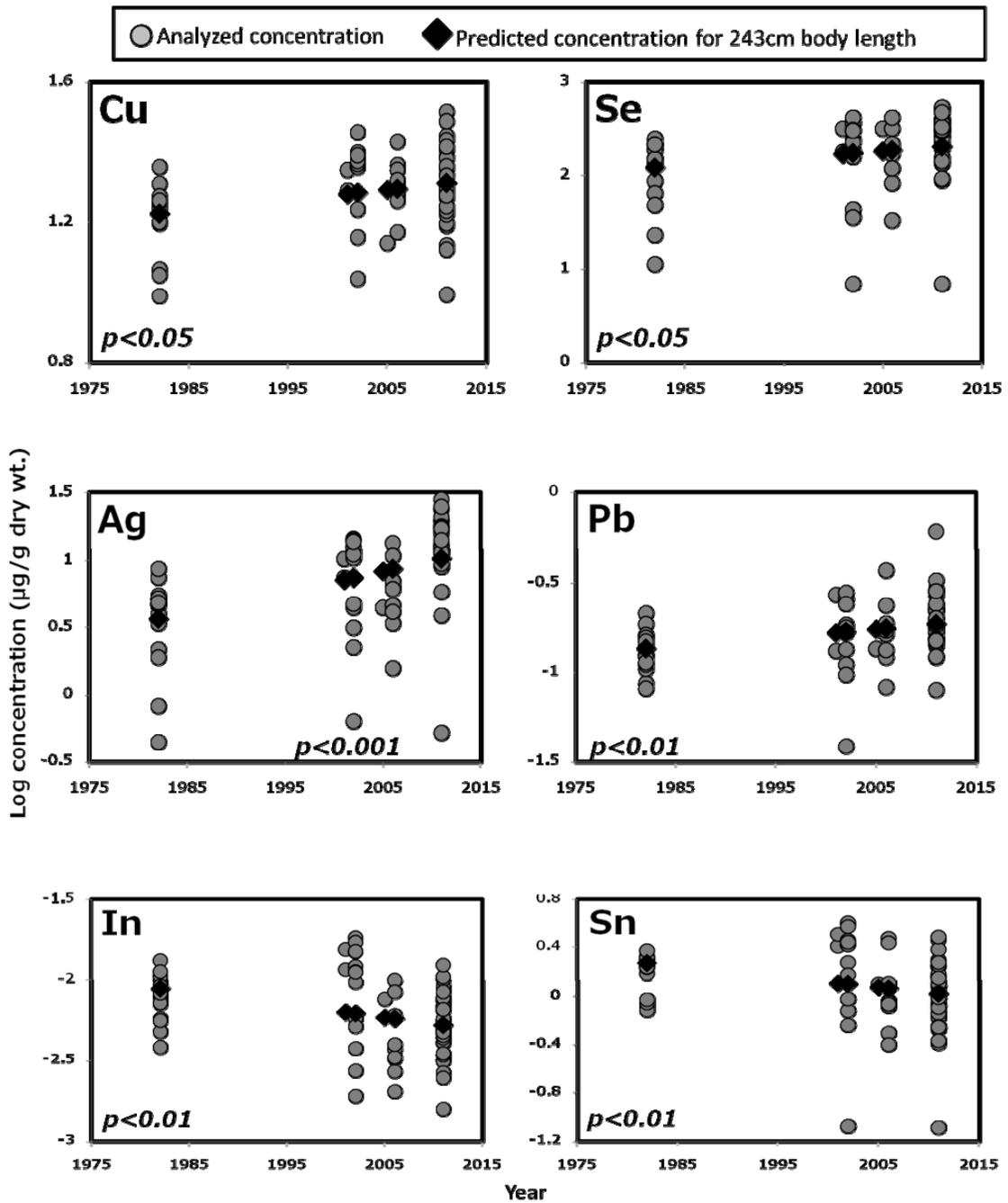


Fig. 13 カズハゴンドウの肝臓中微量元素濃度の経年変動

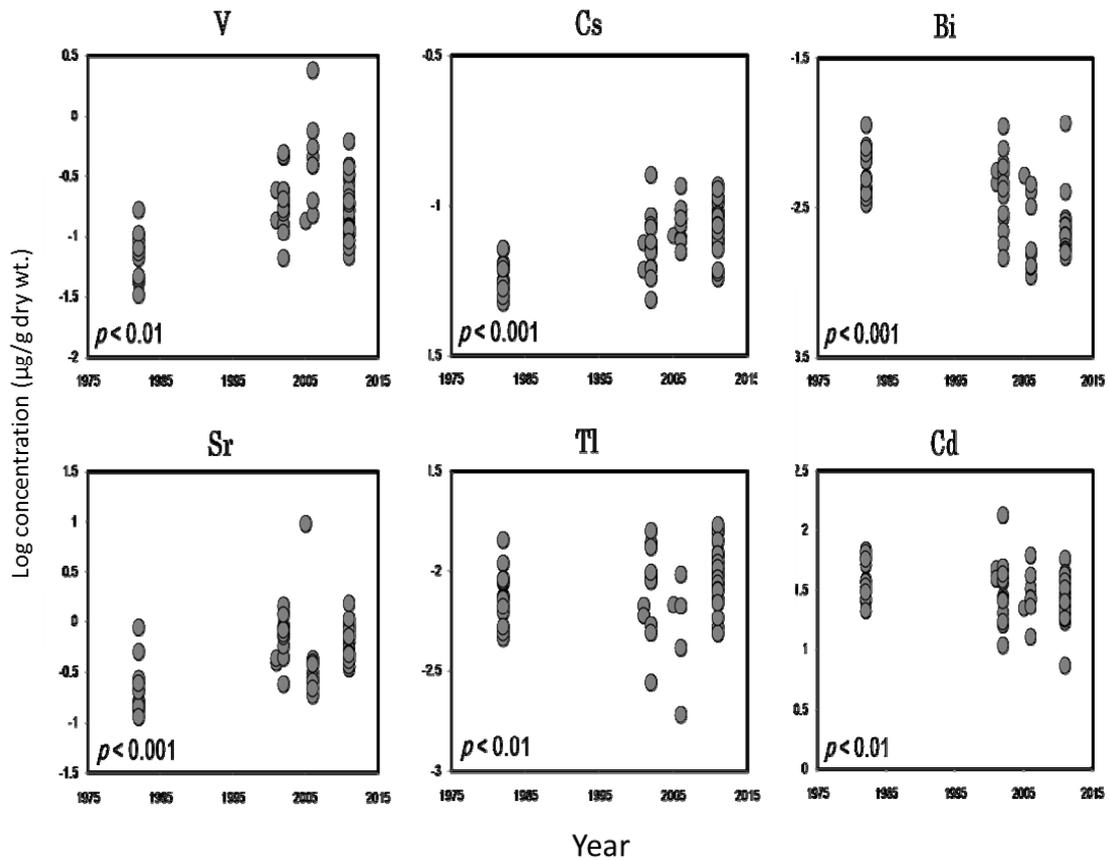


Fig. 13 カズハゴンドウの肝臓中微量元素濃度の経年変動（全頁より継続）

年的上昇、In、Sn は経年的減少を示した(Cu; $p < 0.05$ 、Se; $p < 0.05$ 、Ag; $p < 0.001$ 、Pb; $p < 0.01$ 、In; $p < 0.01$ 、Sn; $p < 0.01$)(Fig.13)。

$$\text{Log [Cu]} = 0.0021 \times [\text{BL}] + 0.0030 \times [\text{Yr}] - 5.28 \quad (R^2=0.18)$$

$$\text{Log [Se]} = 0.0184 \times [\text{BL}] + 0.0078 \times [\text{Yr}] - 17.93 \quad (R^2=0.49)$$

$$\text{Log [Ag]} = 0.0014 \times [\text{BL}] + 0.0155 \times [\text{Yr}] - 33.65 \quad (R^2=0.52)$$

$$\text{Log [Pb]} = 0.0042 \times [\text{BL}] + 0.0047 \times [\text{Yr}] - 11.27 \quad (R^2=0.24)$$

$$\text{Log [In]} = 0.0063 \times [\text{BL}] - 0.0077 \times [\text{Yr}] + 11.66 \quad (R^2=0.21)$$

$$\text{Log [Sn]} = 0.0107 \times [\text{BL}] - 0.0087 \times [\text{Yr}] + 14.89 \quad (R^2=0.26)$$

体長と相関が認められなかった元素では V、Sr、Cs、Tl が有意な経年的上昇を示し(V; $p < 0.01$ 、Sr; $p < 0.001$ 、Cs; $p < 0.001$ 、Tl; $p < 0.01$)、Bi は有意な経年的減少を示した(Bi; $p < 0.001$)。また、性差が確認された Cd も有意な経年的上昇を示した (Fig.13)。

$$\text{Log [Cd]} = -0.1253 \times [\text{Sex}] - 0.0052 \times [\text{Yr}] + 12.13 \quad (R^2=0.20)$$

本研究では、Hg 以外の一部の微量元素でも有意な経年的上昇が認められたが、沿岸域及び外洋域で共通した明確な傾向は認められなかった。これは生息域や食性による影響が考えられた。とくに同じ外洋域に生息するスジイルカとカズハゴンドウの食性は異なっており、こうした生態学的要因が経年変動に影響を及ぼしていることも考えられる。また、必須元素である Ca や Cu、またレアメタルの Li や Sr など体内で恒常性を維持している元素の一部でも濃度上昇がみられ、環境への汚染負荷増大の影響が暗示される。水銀に加え、今後産業用途の拡大が予想される微量元素についても経年変動を調査する必要がある。

本研究により、外洋域に生息する鯨類中 Hg レベルの経年的上昇が明らかとなった。また、Li や Cu などの微量元素でも経年的上昇が認められた。近年、経済成長の著しいアジア地域は微量元素の主要な放出源と考えられることから、本研究の成果は排出量規制の国際的な枠組み整備に重要な知見を提供できたと考えている。

G. 第4章第2節の結論

北日本沿岸域に生息するネズミイルカ 45 検体 (採取年代 1985 - 2010 年)、外洋域に生息するスジイルカ 48 検体 (採取年代 1977 - 2004 年) およびカズハゴンドウ 69 検体 (採取年代 1982 - 2011 年) の肝臓および脳中の微量元素濃度を分析した。一般に、鯨類の肝臓中 Hg は年齢依存的に蓄積することが知られているため、体長または年齢と Hg 濃度の相関を解析したところ、全ての種で有意な正の相関が認められた ($p < 0.05$)。このことから、重回帰分析を用いて体長 (または年齢) の影響を補正したうえで、肝臓中の総 Hg ならびに有機 Hg と採取年代の相関を解析した。

重回帰分析の結果、ネズミイルカでは Hg レベルと採取年に有意な相関は認められなかったが、スジイルカとカズハゴンドウの Hg レベルは、有意な経年的上昇を示した ($p < 0.05$)。すなわち、Hg レベルの経年的上昇は、沿岸域よりも外洋域で顕著であることが示唆された。この傾向は日本近海 (気象庁 2010) や北太平洋 (Sunderland et al. 2009) における海水のモニタリングデータと一致しており、海水汚染の経年変動が海洋生態系に及んでいることを示唆している。スジイルカおよびカズハゴンドウから検出された脳中有機 Hg 濃度を毒性学的知見と比較したところ、半数以上の検体の値はラットで得られた毒性影響濃度に匹敵する有機 Hg レベルに達しており、中枢神経系への影響が危惧された。近年の世界的な Hg 放出量の増加には、中国をはじめとしたアジア諸国の寄与が高いと推定されている。これは他の微量元素についても同様であり、アジア沿岸域から外洋域にかけて、Hg をはじめとした各種微量元素の経年変化を追跡することが重要である。

H. 総括

本研究課題では、2 つのテーマを通し、アジア諸国を発生源とする重金属類の汚染実態について、地域的および広域的な視点での研究を展開した。地域的なアプローチでは、e-waste

処理場周辺の土壌や大気粉塵から、ヒトへの健康影響が危惧されるレベルの重金属類が検出されており、詳細な健康リスク評価と、それに基づく政策提言が喫緊の課題である。また、広域的なアプローチでは、外洋性鯨類の保存試料を用い、外洋域における水銀濃度の経年的上昇を示唆した。水銀条約の批准が迫る今日において、Hgの発生源の特定と将来予測モデルの確立は急務であり、アジア諸国から外洋への水銀の輸送挙動を調査するうえで日本の果たすべき役割は大きい。本研究の成果は、排出量規制の国際的な枠組み整備において重要な知見を提供したと考えられる。

I. 引用文献

- Anan, Y., Kunito, T., Watanabe, I., Sakai, H., Tanabe, S. (2001) Trace element accumulation in hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Japan. *Environ. Toxicol. Chem.* 20, 2802-2814.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2004) Guidance manual for the assessment of joint toxic action of chemical mixtures; *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), (2007) ToXGuide™ for Lead, Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-13.pdf?id=95&tid=22> (last accessed at 4 November 2010).
- Capelli, R., Drava, G., DePellegrini, R Minganti, V., Poggi, R. (2000) Study of trace elements in organs and tissues of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) found dead along the Ligurian coasts (Italy). *Advances Environ. Resear.* 4, 31-43.
- Deng, W.J., Louie, P.K.K., Liu, W.K., Bi, X.H., Fu, J.M., Wong, M.H. (2006) Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site in southeast China. *Atmos. Environ.* 40, 6945-6955.
- Dietz, R., Born, E. W. Riget, F. Aubail, A. Sonne, C. Drimmie, R. Basu, N. (2011) Temporal trends and future predictions of mercury concentrations in northwest Greenland polar bear (*Ursus maritimus*) hair. *Environ. Sci. Technol.* 45, 1458-1465.
- DTSC (California Department of Toxic Substances Control) (1999) The DTSC lead risk assessment spreadsheet, Version 7.
- Endo, T., Hisamichi, Y., Kimura, O., Haraguchi, K., Baker, C.S. (2008) Contamination levels of mercury and cadmium in melon-headed whales (*Peponocephala electra*) from a mass stranding on the Japanese coast. *Sci. Total Environ.* 401, 73-80.
- Keller, M. (2010) Assessment of gold recovery processes in Bangalore, India and evaluation of an alternative recycling path. A case study. *Diploma Thesis in Swiss Federal Institute of Technology*.

- Kunito, T., Nakamura, S., Ikemoto, T., Anan, Y., Kubota, R., Tanabe, S., Rosas, F.C.W., Fillmann, G. (2004) Concentration and subcellular distribution of trace elements in liver of small cetaceans incidentally caught along the Brazilian coast. *Marine Poll. Bull.* 49, 574-587.
- Leung, A. O., Duzgoren-Aysin, N. S., Cheung, K. C., Wong, M. H. (2008) Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in southeast China. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2674-2680.
- Lockhart, W. L., G.A. Stern, R. Wageman, R. V. Hunt, D. A. Metner, J. DeLaronde, B. Dunn, R. E. A. Stewart, C. K. Hyatt, L. Harwood, K. Mount. (2005) Concentrations of mercury in tissues of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from several communities in the Canadian Arctic from 1981 to 2002. *Sci. Total Environ.* 351-352.
- Mackey, E.A., Oflaz, R.D., Epstein, E.M., Buehler, B., Porter, B.J., Rowles, T., Wise, S.A., Becker, P.R (2003) Elemental composition of liver and kidney tissues of rough-toothed dolphins (*Steno bredanensis*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44, 523-532.
- Monaci, F., Borrel, A., Leonzio, C., Marsili, L., Calzada, N. (1998) Trace elements in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from the western Mediterranean. *Environmental Pollution* 99, 161-168.
- Nriagu, J. O. (1996) A history of global metal pollution. *Science*, 272, 223-224.
- Pacyna, E. G., Pacyna J. M., Steenhuisen F. Wilson S. (2006) Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmos. Environ.* 40, 4048-4063.
- Sunderland, E.M., Krabbenhoft, D.P., Moreau, J.W., Strode, S.A., Landing, W.M., (2009) Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: Insights from data and models. *Grobal Biogeochem. Cycles* 23.
- TCVN (Vietnam Standard) (2002) Soil quality - Maximum allowable limits of heavy metals in the soil. *TCVN 7209 : 2002*.
- Thompson, D.R., Furness, R.W. (1989) The chemical form of mercury stored in South Atlantic seabirds. *Environ Pollut* 60, 305-317.
- Tue, N. M., Sudaryanto, A., Minh, T. B., Isobe, T., Takahashi, S., Viet, P. H., Tanabe, S. (2010) Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste recycling sites. *Sci. Total Environ.* 408, 2155-2162.
- US EPA Risk assessment guidance for superfund: Volume III - Part A, Process for conducting probabilistic risk assessment; United States Environmental Protection Agency: Washington, DC, December 2001, 2001; p 385.
- VROM (Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment) (2000) Circular on target values and intervention values for soil remediation.
- 気象庁 (2010): 大気・海洋環境観測報告第 10 号, 2008 観測報告.

第5章 廃棄物リサイクル制度展開の国際比較

分担研究者 由田秀人（日本環境安全事業）

平井康宏、浅利美鈴、酒井伸一（京都大学環境科学センター）

A. 研究の背景と目的

今日、3Rと廃棄物管理政策は、循環型社会形成への基本であるとの認識が国際的にも定着しつつある。廃棄物管理の階層は、基本的には、Reduce, Reuse, Recycle を優先し、3R に次いでサーマルリカバリ、最終処分が明示されることが一般的である。サーマルリカバリには、廃棄物焼却に伴う廃熱発電や有機性廃棄物からのメタンガス回収が含まれる。また、廃棄物管理分野における温室効果ガス（GHG）対策を求める動きも大きくなっている。一方、国情や政策戦略に応じて3R展開や廃棄物管理政策は多様であり、その効果にも特徴があると考えられる。そこで、米国、EU、韓国、日本、中国、ベトナムの5カ国1地域における3R政策と廃棄物管理政策に関する展開と現状、その効果について比較することとした。そして、廃棄物管理政策の特徴と効果について考察し、3Rによる循環型社会形成の方向性についての考察を行った。

B. 研究方法

欧米とアジアの廃棄物リサイクル制度全般の比較データ収集と比較論的考察のためのポイントを抽出するために、本分野での政策立案経験者や有識者を招聘したワークショップを開催した。2009年10月29～30日に京都にて、“Kyoto Workshop on 3R (Reduce, Reuse & Recycle) and Waste Management”と称するワークショップを開催した。ワークショップの目的は、統合的かつ先進的な廃棄物管理政策を構築してきたと考えられる欧米、世界の資源回収工場となりつつあるアジア地域における3R政策体系と廃棄物管理政策について、相互に比較論考を行い、各国制度の特徴と効果を明らかにしていくことであった。欧州連合、ドイツ、英国、イタリア、デンマーク、スウェーデン、米国、韓国、中国、ベトナム、そして日本の政策担当者や学識者を招聘した。ワークショップ参加者には、事前に日本のカントリーレポートを送付し、各国より類似の内容での報告を求めた。また、いくつかの国においては、その政策や効果の確認のため、各地域の施設やシステム整備状況を確認するためのフィールド調査を併せて行った。

C. 結果と考察

1 3Rと廃棄物管理に関する政策の動向

（1）廃棄物管理政策の構成と特徴

5カ国1地域における廃棄物管理政策の枠組みを表1にとりまとめた。廃棄物管理政策は、地球規模の環境問題や資源問題を背景に、20世紀末から21世紀初頭において、旧来の廃棄物処理処分を適正に管理するという対策に加えて、3Rを基軸として持続可能性を追求し、資源

循環型の新たな廃棄物管理制度に変革している。

1) 米国

米国においては、資源保全再生法（1984年大幅改正）、汚染回避法（2002年改正）及び資源保全チャレンジ（2004）により資源保全政策と汚染回避政策を軸とする政策が構築されている。資源保全再生法は、固形廃棄物処理に関する基本法であり、有害廃棄物の削減と管理について規定している。都市ごみ（以下、「MSW」という。）については州ごとの個別規定により管理される。汚染回避法に基づき 2010-2014 戦略プランが策定中であり、草案によると 1)、①GHG 排出量の削減、②有害物質製造、使用縮減、③天然水の節約、④効率的な事業活動の創造、⑤汚染防止慣行の制度化、統合化を目標とし、このうち①から④までの目標達成によりコベネフィットが得られるものとしている。資源保全チャレンジは、資源保全再生法と汚染回避法を補完するプログラムであり、汚染の防止と資源のリサイクル及び再利用の促進、有害化学物質の使用削減、エネルギーと資源の保全を目的とし、アクションプランにより MSW のリサイクル目標が規定されている 2)。

米国環境保護庁では、EPA Strategic Plan の改定が進められており、草案によると、地球温暖化ガス（GHG）の削減における戦略として廃棄物管理政策から持続的な資源管理政策への転換を明示しており 3)、米国における廃棄物管理政策は、GHG 削減、有害化学物質管理そして天然資源の保全対策を併せもつ統合的政策として進展している。

2) 欧州連合（EU）

EU においては、EU 圏域における基本法として廃棄物管理枠組み法（2008年）4) が制定されており、3R 政策はこの枠組みにおいて EU 加盟国による国内法に沿って進展している。EU における廃棄物管理制度の特徴は、3R 促進と廃棄物管理規制が平行して進展している点である。廃棄物管理に関して焼却指令（2000年）及び埋立指令（1999年）が制定されているが、焼却指令は主に環境保全対策における BAT/BEP 適用に関する基準であり、焼却施設におけるダイオキシン類排出抑制対策に大きな効果が得られた。埋立指令は最終処分場における有機物含有廃棄物の埋立禁止基準であり、段階的に埋立物中の有機物含有廃棄物量を削減することを求め、実質的に最終処分量の削減を通じて最終処分場の廃止を促進するとともに、廃棄物への 3R 適用を促進させた 5, 6)。廃電気電子機器については、含有される有害化学物質の環境進入防止と循環管理を目的に WEEE 法と RoHS 法（2002年）が制定されたが、廃電気電子機器の回収を行うための拠点整備とその利用により、廃家電製品のリサイクルが促進された。この WEEE の 3R 展開の基本概念には拡大生産者責任（EPR）がある。欧州の中ではドイツが、いち早く 1992 年に、この EPR を容器包装に対して適用した 7)。その後、使用済み自動車、廃電池の回収リサイクル義務は、EPR 概念のもとで法制化されている。一方、英国では EPR 概念を認めつつも、責任分担原則の下で廃棄物戦略が立てられている 8)。容器包装や食品、紙などについては廃棄物発生抑制やリサイクル促進に向けて産業界と自主合意を交わしている。

英国では、埋立税が導入されており、現在はトン当たり 40 ポンド、その後年 8 ポンドずつ値上げし、2013 年にはトン当たり 72 ポンドとする予定である。廃棄物対策への経済的手法はイタリアでも導入されており、ごみ有料化は 2008 年度で自治体数で 15%、人口比で 29%のカバー率となっている 9)。

3) 日本

日本においては、資源循環に関する基本的枠組みは、循環型社会形成推進基本法（2001 年）により、廃棄物を循環資源と捉え、その循環的利用を規定した 10)。廃棄物管理に関しては廃棄物の処理及び清掃に関する法律（2006 年改正）及び廃棄物のリサイクルを促進するための資源有効利用促進法（2001 年）が基本法となる。このもとに容器包装類、廃家電、食品廃棄物、建設廃材、廃自動車を対象とした個別リサイクル法が制定されている。また、リサイクルを促進するために、国が率先してリサイクル製品を調達することを推進するためのグリーン購入法（2001 年）が制定されている。日本における廃棄物管理制度は、廃棄物管理と資源循環のための基本法が存在し、これらのもとで個別リサイクル法が機能していることが特徴であり、EU 及び韓国に近い構成となっている。

4) 韓国

韓国における廃棄物管理制度は、廃棄物処理に関する基本法である廃棄物管理法（2007 年改正）と循環資源を管理するための資源の節約と再活用の促進に関する法律（2008 年改正）が柱となっている 11)。廃棄物管理法は 1991 年に全文改定され、廃棄物のリサイクル、減量、デポジット制度、焼却及び埋立地の管理基準が導入された 12)。資源の節約と再活用の促進に関する法律は、2002 年に資源の再活用の促進に関する法律が改正されたもので、資源再活用基本計画、廃棄物負担金制度、包装材と使い捨て用品などの使用規制、生産者責任再活用制度（EPR）などが定められた 13)。生産者責任再活用制度（EPR）は、2008 年施行の電気・電子製品及び自動車の資源循環法へと進化することとなった 14)。

韓国における 3R 推進のインセンティブとしては廃棄物処理施設建設に対する地域住民の猛烈な反対運動が重要であったとされる 14)。円滑な施設整備を進めるために 1995 年には廃棄物処理施設設置の促進およびその周辺地域の支援に関する法律 15) が制定された。また、増加する廃棄物に対処するため、強い経済的誘導策が採用され、1995 年にはごみ従量有料化制度が導入されている。他、分別収集の徹底、レジ袋のような使い捨て用品の使用規制なども定められた。2005 年からはこれまで埋め立てられていた生ごみの埋立が法的に禁止され、生ごみはリサイクルに向かうこととなった 16)。

5) 中国

中国においては、環境保護法（1989 年）が基本法であり、このもとに固形廃棄物環境汚染防止法（2005 年改正）及び循環経済法（2007 年）がそれぞれ廃棄物処理と資源循環を管理する。

固形廃棄物環境汚染防止法は 1996 年に制定され、2005 年に改正法が施行されたものであり、改正法では、固形廃棄物（都市ごみ、工業固形廃棄物、有害廃棄物）について 3R の適用を規定するが、量の縮減とともに廃棄物の持つ危害性の縮減をも求めている点が特徴である 17)。また、処理に関しては無害化を規定し、焼却又は埋立といった手法の優先順位は規定されていない。有害廃棄物目録も同法のもとで規定される。

廃棄物の循環利用に関しては、循環経済法が基本となる 18)。循環経済法は 2007 年に施行されたが、これ以前に施行されたクリーン生産促進法（2003 年）及びエネルギー節約法（2003 年改正）の上位法となる。循環経済法制定の背景としては、資源の不足、再生資源の未利用、持続的な経済発展を背景とする国家戦略としての資源枯渇対策があるとされる。すなわち、中国においては急速に発展する経済に対して本質的に資源が不足しており、このため再生資源の利用率を高めることが必須と考えられた。一方、急速な経済発展は大量の廃棄物を生み、廃棄物有効利用システムが成熟していないなかでは深刻な問題が顕在化しつつある。このため、工業が集積する循環経済区を中心に、統合的な再生資源の利用、すなわちゼロエミッション推進が必要と認識され、循環経済法では、産業セクターにおける 3R 管理推進に重心がおかれ、統合的かつ循環的な資源利用に対して付加価値税の減免税等の経済的インセンティブが組み込まれている 19)。

循環経済法が実質的な効果をもたらすためには、E-waste 及び MSW については、管理制度の充実が必要とされ、リサイクル技術や廃棄物処理技術の進展、再生資源利用企業の財務基盤強化が必要とされる 19)。中国における廃棄物管理政策は、急速な経済発展を支える資源問題を中心に展開されているが、海外から輸入される循環資源の取扱も含めて環境側面に対する制度設計及び制度の実施体制の拡充が求められるとともに、経済発展に伴う人の集中、個人所得の増加を背景とする MSW の増加に対する十分な措置が講じられることも必要である。この観点からは、中国では廃自動車回収管理法（2001 年）及び廃家電リサイクル条例（2009 年）が施行された 19)。廃自動車に関しては急速な経済発展に伴い自動車生産台数も急速な増加をたどっており、今後、大量の廃車が発生すると考えられている。しかしながら、当該法制度は廃棄物問題に対する制度設計というより、不正改造車の流通防止や安全面、環境面からの新車切り替え促進を図るための経済的観点から設計された制度と考えられているほか、リサイクルを行うための施設能力が不足及び偏在していることが課題とされている 20),21)。

6) ベトナム

ベトナムにおいては、環境保護法（2005 年改正）が基本法である。廃棄物管理制度としては、固形廃棄物管理法令（2007 年）があり、このもとに固形廃棄物環境保全手数料法令がある 22)。固形廃棄物管理令は、廃棄物処理に関する全般を規定し、分別、リサイクル、再利用、処理及びリカバリーという管理階層を規定し、これにより最終処分に伴う土地の消費を抑制するものとされる 23)。また廃棄物の収集、運搬、処分については有料であり、都市ごみ（MSW）では、40,000d/tonne（190 円/t）、有害廃棄物（HzSW）では 6,000,000d/tonne（28,000 円/t）

以下とされる 24)。有害廃棄物及び医療系廃棄物に関しては決定 (Decision) においてその種類が特定されている 25), 26)。なお、従来の有害廃棄物管理規則 (Decision No155/1999/QD) は固形廃棄物管理法令の改正に伴い、同法第 70 条から 75 条に織り込まれている。

ベトナムにおける廃棄物管理目標は、国家戦略により決定される。2025 年及び 2050 年に至る国家統合的固形廃棄物管理戦略 (2009) 27) であり、ここでは長期的な戦略目標として、2025 年までにリサイクルプログラムに沿って分別された都市ごみ、都市の事業活動により発生した固形廃棄物、工業により発生した有害、無害の廃棄物については、100%収集し適切な処理が行われること、都市における建設廃棄物及び地方で発生した固形廃棄物については 90%を収集することが目標とされる。また、スーパーマーケットで利用されるレジ袋については、2010 年に対して 85%を削減するとされた。そして 2050 年までには、発生するすべての固形廃棄物を収集し、3R 適用のうえ、環境にやさしい先端技術で処理を行うことにより、最終処分量を最小化することを目標とした。また、都市部においては、埋立地を確保する土地が残されていないとの危機感 28) が 3R 推進の強いインセンティブになっていると考えられる。

(2) 廃棄物管理の目標

3R と廃棄物管理を階層的に考えた取り組みを行うことは世界共通である。一方、その取り組みに国や地域の特徴があることの実事であり、例えば、循環経済を政策理念とする中国においては、固形廃棄物環境汚染防止法第 3 条により、最優先の Reduce に関して単に量の縮減だけでなく、廃棄物の持つ危害性をも縮減することを明示している点は特徴的である 29)。また、EU においては、廃棄物管理制度について、3R 政策を理念から法的制約性を有する実効性を持たせること、輻輳する制度を単純化していくことを制度設計の基本としている点が特徴的である 30)。

そして、さまざまな目標設定を具体化する動きも多くみられる。3カ国1地域における廃棄物管理の目標を表 2 (米国)、表 3 (EU)、表 4 (日本)、表 5 (日本) 及び表 6 (韓国) にとりまとめた。なお、米国については新たな廃棄物管理戦略が策定中であり、ここに示した目標はいずれも見直されるものであることに留意が必要である。

廃棄物管理目標は、3R 進行管理のベンチマークとして機能する。このため、基本的には、管理階層に応じた目標設定がなされている。すなわち、最上位に廃棄物発生量を制御するための目標が定められ、ついで発生した廃棄物の管理方法ごとの目標、ついで個別に象徴的なりサイクル品目を対象とするリサイクル目標を定めている。

廃棄物発生量に対する制御目標は米国、日本、韓国で設定されている。米国では 2008 年まで 4.5 ポンド/人・日 (約 2kg/人・日) を超えないことが目標とされた 2)。日本では 2015 年において一般廃棄物全体で 1,070g/人・日、家庭系に限ると 520g/人・日とすることが目標とされた 10)。基準年 (2000 年) に対して前者で -10%、後者で -20%である。韓国では、目標年の推定発生量に対する削減率が目標とされている。2012 年では、推定発生量を 47,975 トン/日とし目標を 5.8%減の 45,177 トン/日とした 31)。

発生した廃棄物の管理方法に関する目標については米国、EU、日本、韓国とも設定がなされている。米国では、MSWのリサイクル率を2002年の31%から2008年までに35%にするとされた²⁾。リカバリー量としては、2001年の57.55MTから2008年には69.05MT(+11.5MT)となる。なお、策定中の2010-2014戦略プランには、2014年までに3R制御量(リデュース、リユース、リサイクル量)を130 billion pounds(約58MT)増加させるとする目標が示されている¹⁾。EUでは、2015年まで紙類、金属類、プラスチック類、ガラス類については分別回収を行うものとし、2020年までに家庭系ごみの50%をリサイクルするとする長期目標が設定されている。また有機廃棄物の埋め立て量を段階的に削減することとされている(2006年:75%に削減、2009年:50%に削減、2016年:35%に削減)³⁾。日本では、再生利用量を12MT(発生量の24%)とし、最終処分量を23MT(基準年(2000年)56MTの41%)とする目標が示されている¹⁰⁾。韓国では、リサイクル量を27,558t/日(10MT/年)、61.0%にするとされた³¹⁾。

個別品目のうち、容器包装類についてみると、米国、EU、韓国においてリサイクル率に関する目標が設定されている。米国においては、素材ごとに目標とする素材リカバリー量を規定し、リカバリー率は基準となる2001年発生量に対するリカバリー量から求められる²⁾。目標とされるリカバリー率は木製容器で24.2%(+9.2%)、プラスチック容器で19.4%(+12.8%)、飲料容器で38.7%(+12.7%)とされる。リカバリー方法について熱回収は含まれない模様である。EUにおいては、目標を素材リサイクル率と熱利用を含むリカバリー率におき、分母は対象年の発生量である³⁰⁾。目標はリサイクル率で55%、リカバリー率で60%とされる。韓国では素材ごとに毎年のリサイクル率目標が定められ、2008年ではガラス瓶で50%、スチール缶で65%とされる¹⁶⁾。リサイクル実績によると、2008年では、ガラス瓶、アルミ缶、スチール缶のリサイクル率は75%を超えており³¹⁾、目標とされるリサイクル率は見直されている可能性がある。韓国では、リサイクル率に加えて容器包装材の使用量の縮減規定、素材規定に関しても数値目標による管理が行われている¹⁶⁾。

表1 各国及び地域の廃棄物管理制度の枠組み

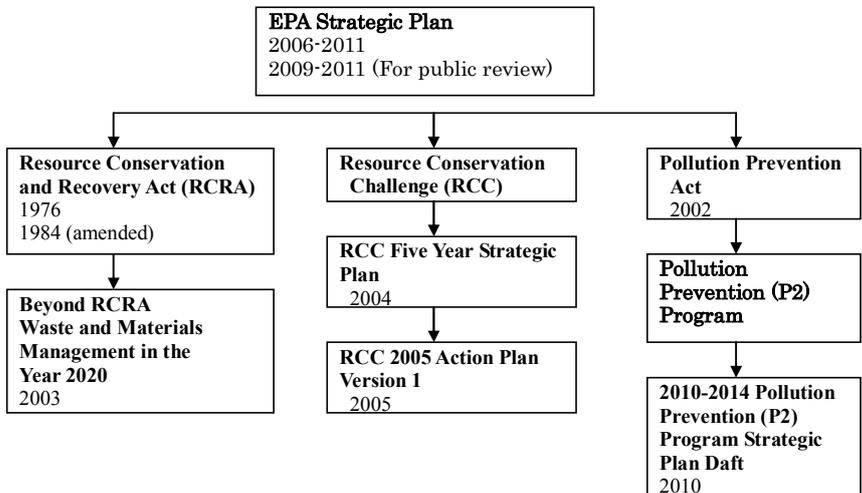
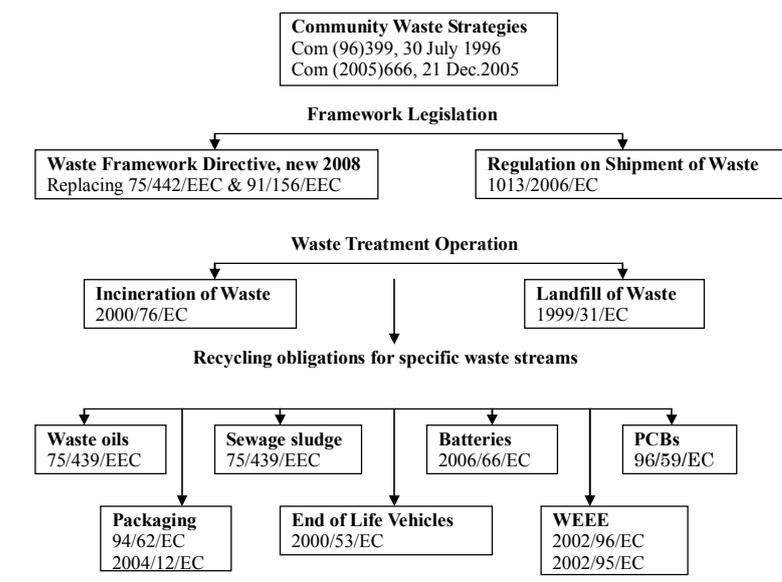
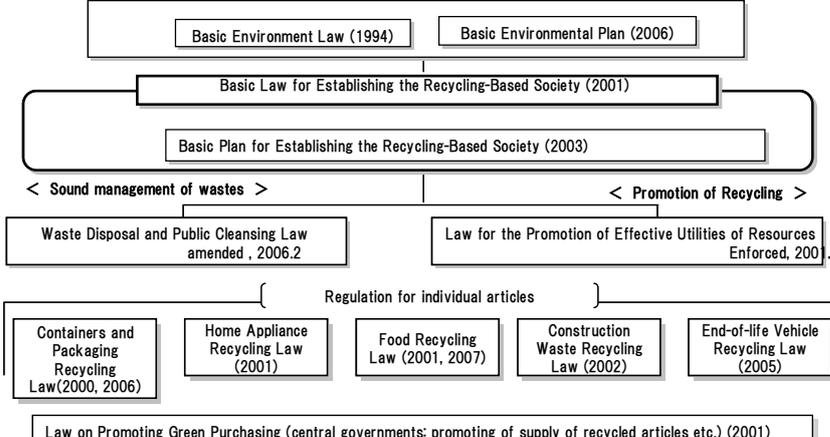
国・地域	廃棄物管理制度
USA 32), 33)	
EU 5)	
Japan 34)	

表1 各国及び地域の廃棄物管理制度の枠組み(続き)

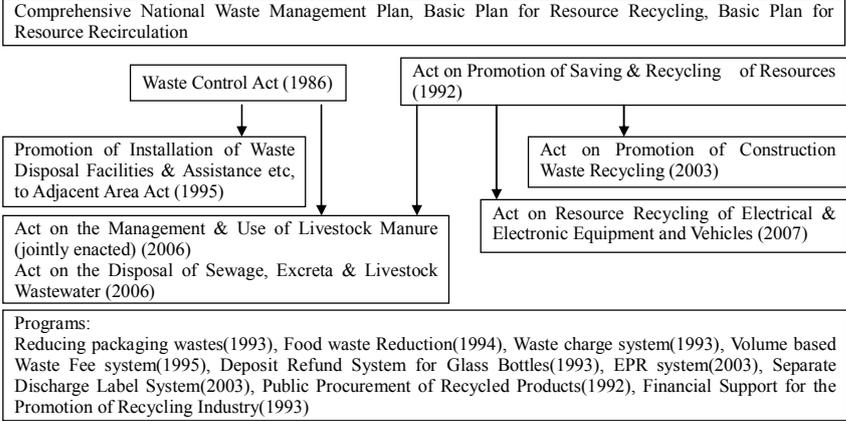
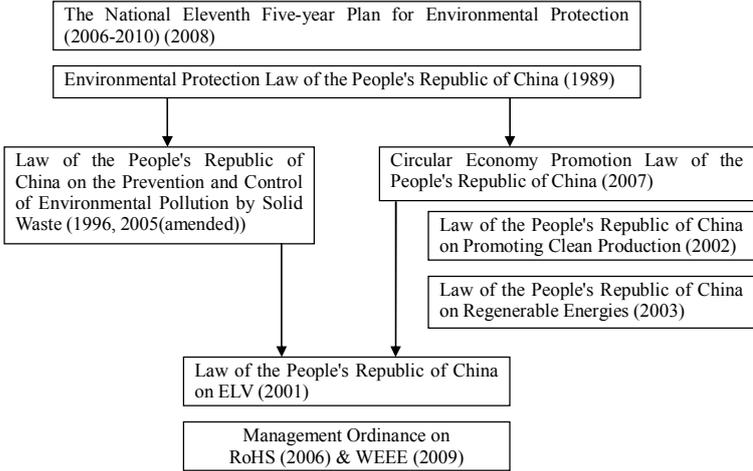
国・地域	廃棄物管理制度
<p>Korea 16), 31) ,35)</p>	
<p>China 19)</p>	
<p>Viet nam 22), 27)</p>	

表2 米国におけるリサイクル目標 2), 32)

Each year through 2008, maintain the national average MSW generation rate at not more than 4.5 pounds per person per day.								
By 2008, increase recycling of the total annual MSW produced to 35 percent from 31 percent in 2002.								
2001 MSW						Proposed 2008 Recovery Goals		
	Generation (MT)	Generation Rate (%)	Recovery (MT)	Recovery Rate (%)	%	MT	% Increase	MT Increase
Organic Waste								
Food, Other	26.2	11.4	0.7	2.8	5	1.28	2.2	0.58
Yard Waste	28.0	12.2	15.8	56.5	60	16.8	3.5	1.0
Paper								
Paper and Paperboard Products (includes folding cartons)	81.85	37.2	36.7	44.9	53.8	44.1	8.9	7.32
Packaging and Containers								
Wood Packaging	8.17	3.6	1.25	15	24	2	9.2	0.75
Plastic Wraps	2.58	1.1	0.17	6.6	19	0.5	12.8	0.33
Total Beverage Containers	11.3	5.0	2.93	26	39	4.36	12.7	1.43
Total	<i>158.1</i>	68.9	57.55	36.4	43.7	69.04	7.3	11.5

表3 EUにおける廃棄物管理目標 30)

		Min. Recovery	Min. Recycling	Collection rate
Packaging	2008	60%	55%	
Cars	2015	95%	85%	100%
Electronic	2006	70%	50%	Min, 4kg per Inhabitant per year
Batteries	2011		50% to 75% (efficiency)	
	2012			25%
	2016			45%
Tyres	2006	Zero landfill of tyres		
Biowaste	2006	Reduction to 75% of the 1995 level		
Diverted from landfills	2009	Reduction to 50% of the 1995 level		
	2016	Reduction to 35% of the 1995 level		
New targets	2015	Separate collection: At least paper/metal/plastic/glass		
Waste Framework Directive	2020		50% household waste	
	2020		70% construction and demolition waste	

表 4 日本における廃棄物管理の目標 10), 37)

	2000 年度 (基準年)	2006 年度 (実績)	2015 年度 (目標値)
資源生産性	26 万円/t	35 万円/t	42 万円/t
循環利用率	10%	12.5%	14-15%
1 人 1 日排出量	1,185 g	1,116 g (-5.8%)	1,070 g (-10%)
1 人 1 日排出量 (家庭系)	654 g	601 g (-8.1%)	520 g (-20%)
事業系ごみ排出量	1,799 万 t	1,582 万 t (-8.1%)	1,440 万 t (-20%)
再生利用量	5.9 百万 t (約 11%)	10 百万 t (約 20%)	12 百万 t (約 24%)
最終処分量	56 百万 t	29 百万 t	23 百万 t

表 5 日本における個別品目におけるリサイクル率目標 10)

分類	品目	目標	目標値の定義	目標年度
容器包装	ガラスびん	91%	国内で製造されたガラス容器の量に対するカレット利用率	2010 年度
	ペットボトル	-	-	-
	プラスチック製容器包装	-	-	-
	紙製容器包装	-	-	-
	スチール缶	-	-	-
	アルミ缶	-	-	-
	紙パック 段ボール	- -	- -	- -
紙		62%	国内で製造される紙の量に対する古紙利用率	2010 年度
家電製品	家庭用エアコン	70%	再商品化量/処理量	-
	ブラウン管テレビ	55%	同上	-
	冷蔵庫・冷凍庫	60%	同上	-
	洗濯機・衣類乾燥機	65%	同上	-
	液晶・プラズマテレビ	50%	同上	-
建設廃棄物	アスファルト・コンクリート塊	98%	工事現場から排出された特定建設資材廃棄物の重量に対する再資源化等されたものの重量の百分率	2012 年度
	コンクリート塊	98%	同上	2012 年度
	建設発生木材	95%	同上	2012 年度
食品廃棄物	食品製造業	85%	(発生抑制量+再生利用量+熱回収実施量×0.95+減量実施量) / (発生抑制量+発生量)	-
	食品小売業	45%	同上	-
	食品卸売業	70%	同上	-
	外食産業	40%	同上	-
パーソナルコンピュータ及びその周辺機器	デスクトップパソコン	50%	資源再利用量/回収量	-
	ノートブックパソコン	20%	同上	-
	ブラウン管式表示装置	55%	同上	-
	液晶式表示装置	55%	同上	-
小型二次電池	ニカド電池	60%	再資源化量/処理量	-
	ニッケル水素電池	55%	同上	-
	リチウム蓄電池	30%	同上	-
	密閉型鉛蓄電池	50%	同上	-

表6 韓国における3R政策の目標 (16), 31)

Municipal Waste Management Goals				
Category	2005(record)	2008	2010	2012
Expected Generation(tons/day)		48,003	47,989	47,975
Reduction rate		2.5%	4.2%	5.8%
Waste Generation(tons/day)	48,398	46,083	45,990	45,177
Recycling Amount(tons/day)	27,243	26,678	27,134	27,558
Recycling rate	56.3%	57.0%	59.0%	61.0%

Regulations on Packaging Method		
Category	The ratio total packing size	The number of packing layers
Food stuffs	From 10-20%	2 layers and below
Cosmetics	Under 10%	2 layers and below
Detergent	Under 10%	2 layers and below
Sundry stiffs	From 30% to 35%	2 layers and below
Quasidrugs	Under 10%	2 layers and below
Miscellaneous products	Under 20%	2 layers and below

Annual Reduction Target of Synthetic Resin Packaging Material	
Items	The ratio of synthetic resin packages
Egg holders	Under 40%
Apple and pear holder	Under 65%
Instant noodle containers	Under 85%
Packing materials for agricultural, livestock and fishery products	Under 90%
Synthetic resin buffering materials for electric appliances	ESP package under the volumes of 20,000 cm ³ is banned.

Target rate of recycling	
Items	Target rate of recycling
Used paper	72%
Used glass	71%
Used glass bottles	50%
Used steel cans	65%

Source: ministry of Environment (2007), 2007 Resource Recirculation Policy of Korea

2 3Rと廃棄物管理政策の効果に関する比較、考察

(1) 廃棄物発生量と処理内訳

3カ国1地域における都市固形廃棄物(MSW)の発生量及び処理内訳を表7、8にとりまとめた。また処理内訳の比率を図1に示した。ここで整理した処理内訳は、直接リサイクル量、直接焼却量、直接埋め立て量であり、合計値は発生量と一致する。日本の場合は、リサイクル施設により破碎、選別された後の焼却物、リサイクル物、埋め立て物の量をそれぞれに加算し、かつ、埋め立て量には焼却残渣が含まれる。ここでは他国との比較のため、日本のリサイクル量についてはEUと同様に差し引き(発生量－(直接焼却量+直接最終処分量))で求めた。したがって、焼却量にはリサイクル施設で選別された可燃物が含まれず、最終処分量には、リサイクル施設で選別された不燃物及び焼却残渣が含まれない。この結果、リサイクル量は公表されている量よりやや多い点に留意が必要である。また、米国、EU及び韓国ではサーマルリカバリーはリサイクルに含まれていないが、日本についてはRDF化分についてはリサイクルに含まれている。

発生量をみると、米国が800kg/p/aと最も多く、日本、韓国の2倍に及ぶ。米国のMSWの組成をみると最も多いのは容器包装類であり30%を占める。ついで庭ごみを含む有機性廃棄物が27%であり、紙類等が24%、鉄、プラスチック類が18%となっている(重量比、2008年38)。

処理内訳をみると、焼却率が高く、埋立率が極度に低い日本に対して、焼却率が低い他の3つの国・地域がかなり乖離していることが分かる(表7、図1)。他の3つの国・地域においても処分量・リサイクル率には差があり、処分量は米国、EUが40-50%であるのに対し、韓国では20%台である。リサイクル率は韓国が60%近く、米国、EUは30-40%程度となっている。処理内訳の経年推移をみると(表8)、米国では内訳変化は緩やかであり、EU、日本、韓国では処分量が大きく減少し、リサイクル率が増加している。この傾向は韓国において顕著である。

リサイクル率の経年変化をみると(図2)、2007年で韓国が58%と高く、ついでEUが41%、米国が33%と続き、日本は25%となっている。韓国におけるリサイクル率は生ごみの埋立禁止令が発令された2004年から急速に上昇しており、生ごみのリサイクル化が高いリサイクル率の主因である。韓国の統計では、生ごみは分別収集分が計上されており、これについてはリサイクルとして計算されている(39)。これより韓国のリサイクル量に占める生ごみの比率を求めると45%(2008年)となり、60%近いリサイクル率の半分近くは生ごみであることがわかる。生ごみは堆肥化及び飼料化等により資源化されているが、全般的に技術面、経済面において改善点が多く残されているとの指摘もある(31)。EUにおいても生ごみは埋立が法的に回避されており、高いリサイクル率の原因のひとつと考えられる。米国におけるリサイクルは、紙類と庭ごみがそのほとんどを占めている。

表7 各国のMSW処理内訳 (in kg/person/a, (%))

Countries	Recycling	Combustion	Landfilled	Total
The USA ¹⁾	268(33.2)	102(12.7)	438(54.1)	808(100.0)
EU27 ²⁾	215(41.0)	102(19.5)	207(39.5)	524(100.0)
Japan ³⁾	100(25.1)	290(72.6)	9(2.3)	399(100.0)
Korea ⁴⁾	221(57.8)	71(18.6)	90(23.6)	382(100.0)

1) Data: 2008, Combustion: Only with energy recovery 40)

2) Data: 2008 41)

3) Data: 2007, Landfilled: Not included residue 42)

4) Data: 2007 43)

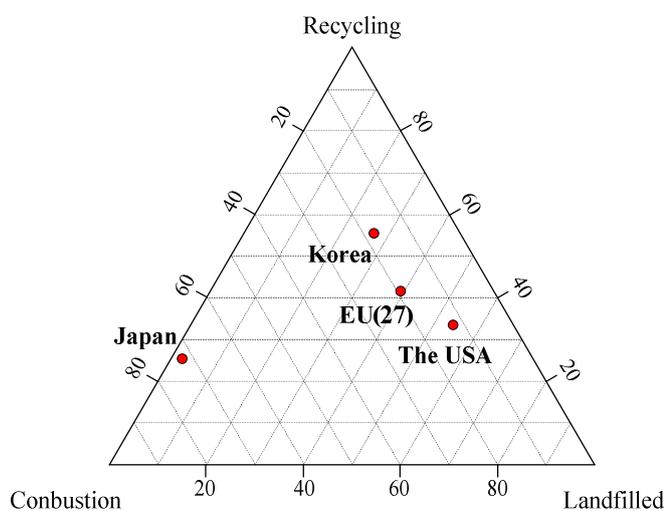


図1 米国 40)、EU27 41)、日本 42)、韓国 43)の焼却率、リサイクル率及び埋立率の分布

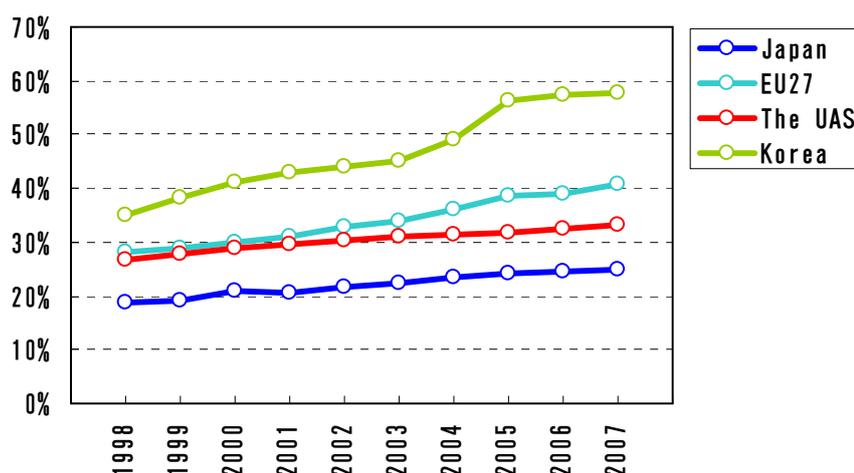
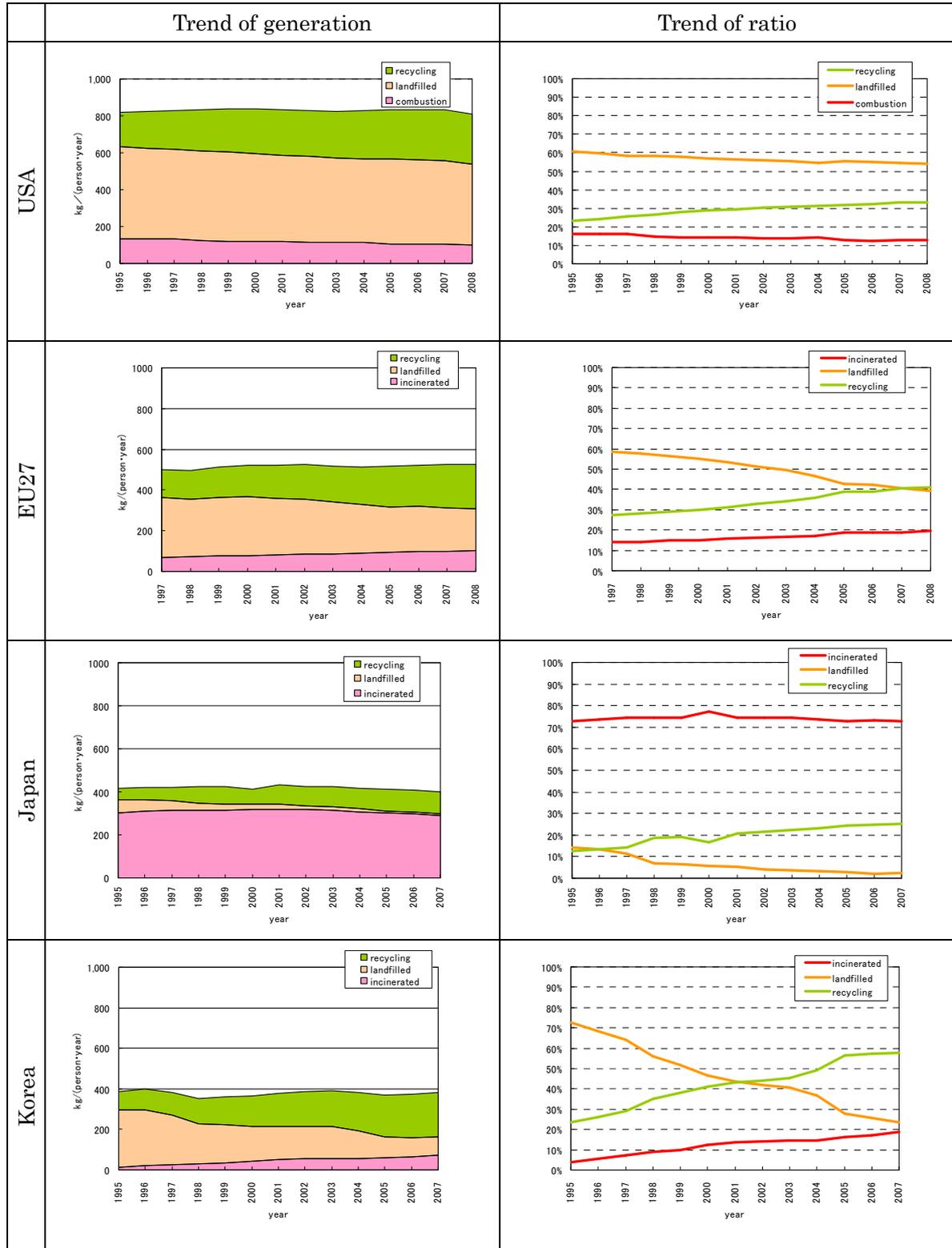


図2 米国 40)、EU27 41)、日本 42)、韓国 43)のリサイクル率の推移

表 8 各国・地域の廃棄物発生量と処理内訳の推移(米国 40)、EU27 41)、日本 42)、韓国 43)



(2) 容器包装類を例とした3Rと廃棄物管理政策

米国、EU及び日本における容器包装類のリサイクル状況を表9に取りまとめた。3つの地域においては、容器包装類の回収対象に差がある。米国の回収対象はガラス容器、紙類（コルゲートボックス、牛乳用容器、折り畳み箱、その他パック、容器類）、金属類（スチール缶、アルミ缶）、プラスチック類（ペットボトル、高密度ポリエチレン、低密度ポリエチレン、その他）、木製容器であり40)、EUにおいては、ガラス容器、プラスチック容器包装類、紙製容器包装類、木製容器とされている44)。日本においては、ガラス瓶、スチール缶、アルミ缶、食品トレイ、ペットボトル、紙パック、段ボール紙、その他紙製容器包装類、その他プラスチック製容器包装類である10)。法律により事業者による費用負担を求めている日本、EUでは、回収対象品目が細かく定められているが、米国では連邦政府としての容器包装類回収システムはなく、州政府ごとに預託金制度45)等の回収システムが構築されている。

容器包装類のリサイクル率（容器包装ごみ発生量の対するリサイクル量、表中C/B）は、義務的な規則と明確なリサイクル目標を定めたEUが58.8%と最も高く、法的仕組みは持つものの参加が任意であり、かつ明確なリサイクル目標を定めていない日本が23.7%と最も低い。米国は43.8%とEUに近いリサイクル率となっている。

容器包装類の発生量についてみると、米国が249kg/p/aと最も多く、EU（165 kg/p/a）や日本（93 kg/p/a）に比べて1.5から2.7倍程度の発生量となっている。いち早く容器包装類のリサイクルシステムを構築したEUにおいても制度の目的であった容器包装類の減量は進んでおらず逆に増加している（図3）。またリサイクル率も国間での差が大きい（図4）。従来の制度が容器包装類の減量のための明確な目標を提示していなかったためと指摘されている5)。

韓国においては、容器包装類については、製品設計、製品販売、回収・リサイクルの各段階で廃棄包装類削減、リサイクルのための義務的な制度が施行されている。リサイクルについては、EPR制度のもとでタイヤや家電製品等とあわせて事業者による義務的な回収・リサイクルが進められている。更に製品に使用する容器類のサイズ制限やデポジット制度の施行により、包装類そのものの削減政策も進められている。韓国における容器包装類のリサイクル率に関する統計は入手できていないが、廃棄物統計書39)からガラス類、缶類、プラスチック類及び樹脂類を容器包装類と仮定して試算すると、41.7kg/p/aとなった。ガラス類とプラスチック類（ペットボトル等）が多く、特にガラス類は半分近くを占めた。このリサイクル量は日本（22 kg/p/a）とEU(97 kg/p/a)の中間程度である。

表9 米国、EU27、日本の容器包装類の排出・リサイクルの現状と基本政策

Categories	USA40)	EU44)	Japan 42), 46)
A: Total MSW generation(kg/p/a)	808	524	399
B: Total packaging(kg/p/a)	249	165	93
C: Recycled packaging(kg/p/a)	109	97	22
Recycling rate (C/A) (%)	13.5	18.5	5.5
Recycling rate(C/B) (%)	43.8	58.8	23.7

Recycle system	Voluntary	Regulation	Regulation
Recycling targets	○	○	Non
MSW reduce targets	△	○	○

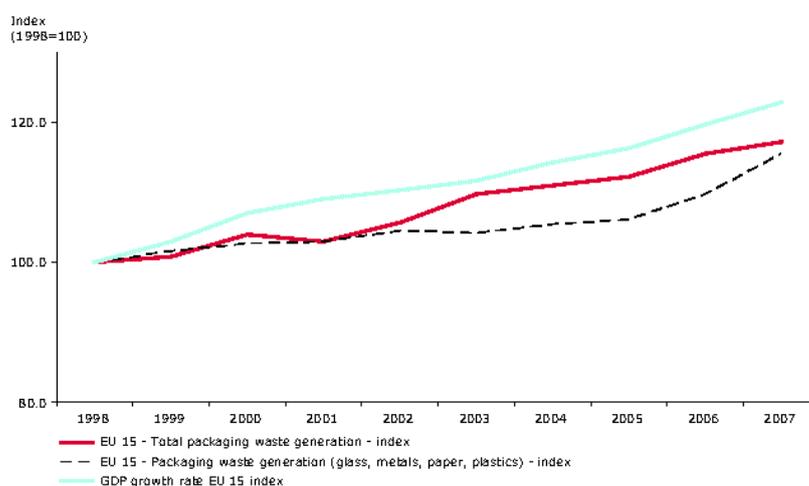


図3 EU15における容器包装類の発生量比率の推移（1998年=100）47)

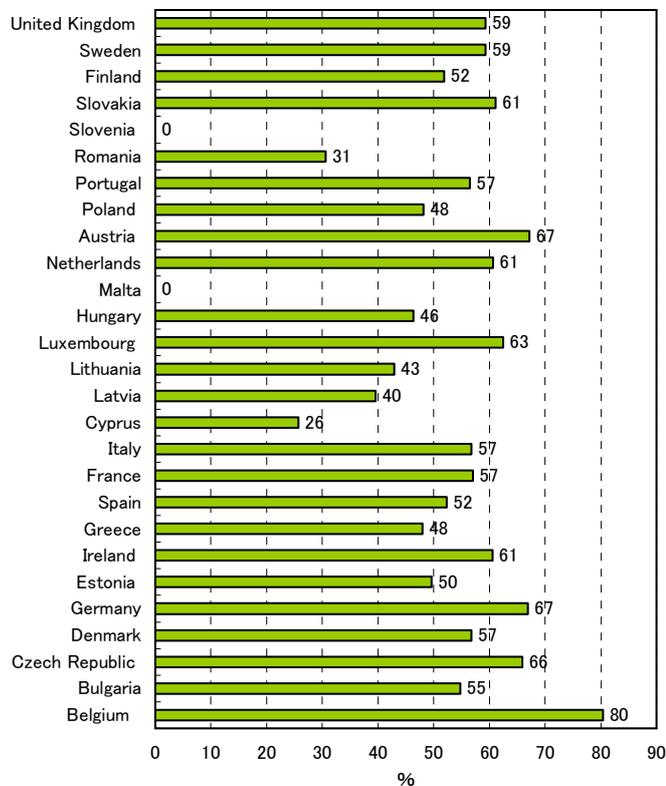


図4 EUにおける容器包装類のリサイクル量（一人当たり年間量（kg）44）

（3）廃棄物焼却に伴うダイオキシン類排出量

廃棄物焼却に伴うダイオキシン類の発生量（国民一人当たり）の推移を図5に示す。廃棄物焼却率とダイオキシン類発生量は相関があり、廃棄物処理を焼却中心で行ってきた日本ではダイオキシン類対策が講じられるまでの期間は $60 \mu\text{g-TEQ/p/a}$ を超える排出量であったが、1997年以降、本格的な対策が進むにつれて排出量は大きく低減した。他国では、比較的焼却率の高い米国において $30 \mu\text{g-TEQ/p/a}$ を超える排出量であったが、これについても対策の進展により1995年以降、低減した。

日本におけるダイオキシン類発生量と廃棄物発生量の関係を図6に示す（48）。日本では、可燃ごみのほとんどを焼却していたが、1997年のダイオキシン類対策特別措置法策定以降、施設改善が進み、急速に発生量が削減された。その後減少率は横ばい傾向となるが、2003年以降は、3R施策の展開にあわせて廃棄物焼却量が削減されており、この段階で更に排出量の低減化が進み、近年では対策前の99%以上の削減が達成されている。

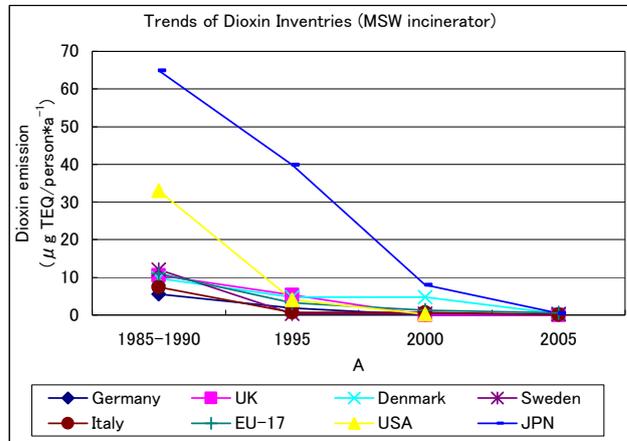


図5 国、地域別の廃棄物焼却施設からの一人当たりダイオキシン類発生量の推移 (49-55)

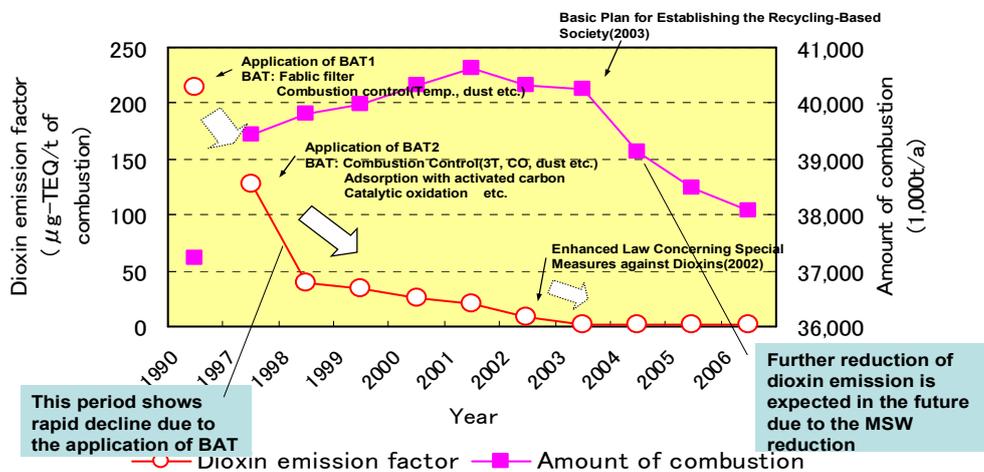


図6 日本における廃棄物焼却施設からのダイオキシン類排出量と廃棄物管理政策の相関 (48)

(4) 化学物質管理や家庭系有害廃棄物管理

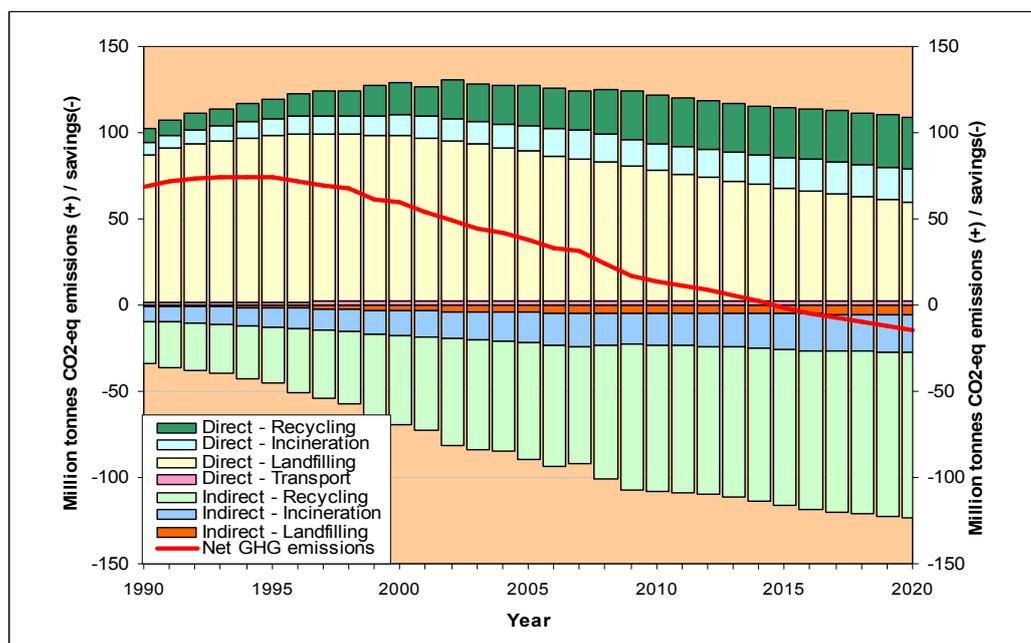
3Rや廃棄物管理は、化学物質管理と統合的に推進されることが望ましい。有害廃棄物や残留性化学物質制御のための技術や社会のあり方としては、有害性のある化学物質の使用は回避すること（クリーン）、適切な代替物質がなく、使用の効用に期待しなければならないときは循環を使用の原則とすること（サイクル）、そして環境との接点における排出を極力抑制し、過去

の使用に伴うストックや廃棄物は極力分解、安定化することで制御すること（コントロール）を、階層的対策として原則となる 56)。この基本的考え方と類似の枠組みで、米国では、汚染回避法は、有害物質規制法（TSCA）とともに化学物質管理に関する規定であり、汚染源対策による発生防止を優先し、これが出来ない場合は環境上適切な方法によるリサイクルを行い、発生回避及びリサイクルが出来ないものは環境上適切な方法による処理を行うものとし、投棄、放出は最後の手段とするという汚染物質の管理階層を規定している。Peeler は、米国ワシントン州で、水銀、PBDE、鉛に対する対策としての Chemical Action Plan を推進中であることを紹介している 57)。Hylander は、水銀の例を中心に、有害物はリサイクルよりも適正処分が望ましいことがあること、代替物質があるにもかかわらず、有害物が使用されていることがあること、有害物が少ない方がリサイクルは容易となることに警鐘を鳴らしている 58)。

そして、廃棄物管理分野での重要課題として、家庭系有害廃棄物（HHW）管理がある。EU においては、ライフサイクルでの製品の適切な管理を行うための戦略として、HHW に対する調査を行い、2002 年に最終報告をまとめ、HHW を「埋立、焼却及び堆肥化されたときに都市ごみの有害性状を増加させる可能性のある廃棄物」と定義し、有害家庭系化学物質（HHC：hazardous household chemicals）に焦点をあてている 59)。固形廃棄物処理に関して優先して取り組むべき 14 化学物質（As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, PCB, ベンゼン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、テトラクロロメタン、シアン化ナトリウム）を、埋立や焼却といった固形廃棄物処理や処理施設からの排出インベントリに基づいて同定した上で、HHC の流入ルートとして、HHW となる製品の制御を求めている。そして、浅利らは家庭系有害廃棄物の所有状況やその処分方法、回収・リサイクルに対する意識を尋ねた市民アンケート調査を実施し、回収・リサイクルシステムへの参加については、製品の危険性等に関する情報を提示することにより、大幅に参加率が上がることを報告している 60)。

(5) 廃棄物管理と温室効果ガス抑制に関する施策動向

EUでは、廃棄物の埋立に関する理事会指令 (Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste) が策定されており、生分解性を有する都市廃棄物については、総重量として1995年比75% (2006年)、50% (2009年)、35% (2016年) の埋立削減をめざしている。EU27カ国における都市ごみ管理に伴うGHG排出量の試算結果によると (図7)、生分解性都市ごみの直接埋立を回避し、リサイクルを行うことにより、2010年では約75百万t-CO₂、2020年では約60百万t-CO₂のGHG削減効果があるとされた。この計算では、将来的にMSW発生量が520kg/p/a (2004年) から680kg/p/aから680kg/p/aに増加すること及び2020年におけるMSWの処理内訳を最終処分: 34%、リサイクル: 42%、発電付きごみ焼却: 23%という廃棄物管理政策に基づくシナリオを想定したうえで、直接的なGHG排出として、廃棄物の輸送や処理、処分に伴う排出量を推計し (図中、「direct」)、加えて間接的な効果、つまりリサイクルされた資源が天然資源に代替するときや、廃棄物発電による電力が化石燃料由来の発電に代替するさいのGHG排出抑制効果を織り込んだ (図中、「indirect」)。この計算により、MSWのよりよい管理は、GHGに効果があることが明らかになり、さらに効率的なリサイクルや廃棄物発電の導入によりこの削減をさらに促進させることができると考えられた⁵⁾。



Source: Ioannis Bakas, ETC/SCP 2009

図7 EUにおける都市ごみ管理に伴うGHG排出量 (50%メタン回収を想定) ⁵⁾

日本では、図8に示すとおり、循環資源の現状の処理処分実態や性状に応じて、全量単純焼却あるいは全量直接埋立のどちらかのケースを想定し、再生利用及び熱回収を対象としたGHG削減効果の試算がなされている。全体的な傾向として、効果の絶対量としてはマテリアルリ

サイクル（MR）が大きいのが、近年はほぼ横ばい状態となっている一方、最近の傾向としてはケミカルリサイクル（CR）/熱回収（TR）が伸びている点が特徴として挙げられる。平成17年度における、MR、CR及びTRによるCO₂削減量は、約60～90百万t-CO₂と試算している(61)。

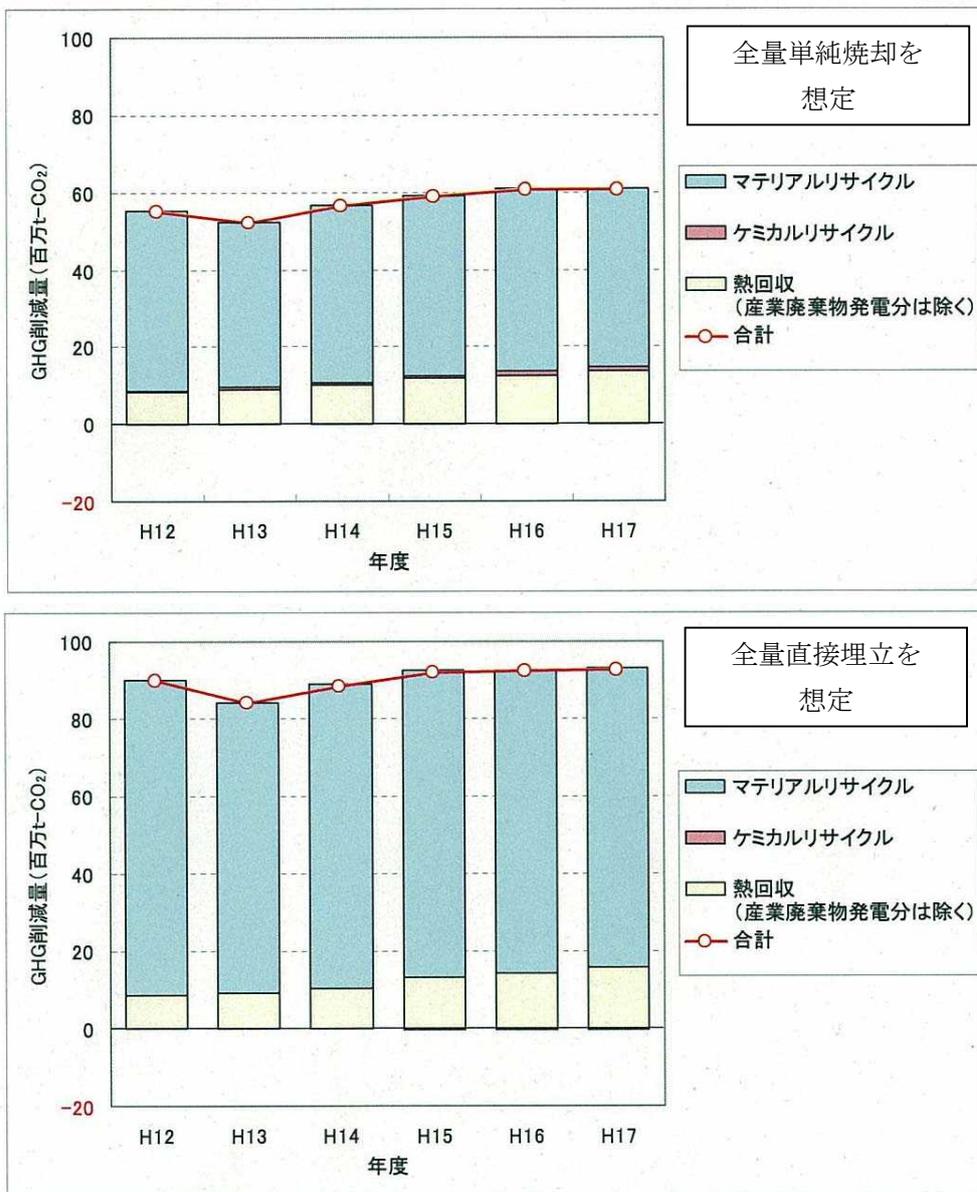


図8 循環的な利用によるGHG削減量(61)

米国においては、廃棄物管理と温室効果ガスの排出には強い関連があるとの認識にたち、廃棄物管理政策を進めている。廃棄物管理と温室効果ガス排出の関係については、

- ① リサイクルの推進によるエネルギー消費の抑制

- ② ごみ焼却量の削減
- ③ 最終処分量の削減によるメタンガス発生抑制
- ④ 古紙のリサイクル推進による森林の保護（CO₂吸収能力の確保）

であるとしており、このため、ごみの減量及びリサイクルの推進を図ることが必要としている（62）。

D. 結論

廃棄物管理政策における3R展開の方向性については、3R推進の目的から大きく3つの方向にあることが分かった。第1に、埋立回避の方策として3R政策を進めるケースであり、EU、日本、韓国がこれに該当する。これらの国、地域では、最終処分地を確保することの困難性から代替策を講じた結果、リサイクルを中心とした3Rが進展した。しかしながら、生ごみ対策に関してはEU及び韓国と日本では政策展開に大きな差が見られた。焼却インフラの整った日本においては、生ごみはもっぱら焼却により安定化と減量化が行われてきたが、これによりダイオキシン類対策という社会問題を乗り越える必要もあった。焼却インフラが未整備なまま、法的手段を用いて生ごみの埋立回避を行ったEU及び韓国では必然的にコンポスト化を含む3R管理に向かう道筋が選択された。地球温暖化対策と相まってこれらの国、地域においてもサーマルリカバリーは廃棄物管理の一つに明示的に盛り込まれているが、焼却処理率は20%に満たない。

第2に、経済発展が著しい中国、ベトナムでは、3R政策は資源確保の方策として推進されることとなった。著しい経済成長に対して資源確保が遅れ気味となる場合、再生資源を十分に利用することが有効である。資源確保が背景にある以上、他国の再生資源についても積極的な取り込みを行うこととなるが、このことは、一方で再生資源に含まれる可能性のある有害化学物質の進入回避策が不可欠であることを意味する。有害廃棄物管理に関しては制度的にはいずれの国においても3R政策と同様もしくはより高い優先順位に位置付けている。特に中国においては固形廃棄物管理の階層として、量的縮減とともに廃棄物の持つ危害性の縮減を強く意識した政策理念を明示していることは興味深い。制度の整備は着実に進んでいるが管理能力や施策実施能力が不足している側面もあり、今後、3R政策の実施とともに有害物質管理に関する実効性を高める必要があるといえる。

第3は、3R政策を軸に廃棄物管理にとどまらず天然資源の保全やGHG対策との相乗効果を目指した統合的な政策を構築しようとするケースである。米国では広い国土を背景に処分場問題は他の国に比べて深刻度は低い。むしろ、スーパーファンド法に見られるように土地汚染やこれを通じた地下水汚染に関しては極めて厳格な対応を図る点においては埋立回避を目指しているが、他国のような法的手段を講じる政策は選択していない。現在、構築しようとしている政策は、明らかに廃棄物管理からGHG対策等との統合的、相乗的政策への転換である。このようなパラダイムシフトがどのように進展するのかについては不透明であるが、3Rという

行動規範を廃棄物管理を超えて統合的な環境管理政策の理念におく試みは革新的であるといえる。

E. 要旨

循環型社会形成に向けて、3R政策は廃棄物管理や温暖化対策の基本であるとの認識が国際的にも定着しつつある。国情や政策戦略に応じてその政策展開は多様であり、その効果にも特徴があると考えられるため、米国、欧州連合、韓国、日本、中国、ベトナムの5カ国1地域における3R政策と廃棄物管理政策とその効果についての比較研究を進めた。2009年10月に5カ国1地域における3Rや廃棄物政策担当者を京都に招聘して国際ワークショップを開催して情報交換を進め、関連の文献サーベイを併せて実施することにより研究を進めた。

5カ国1地域における廃棄物管理の階層は、基本的には、Reduce, Reuse, Recycleの優先順位が明示されている。3Rについてサーマルリマバリーが明示されており、これには廃棄物焼却に伴う廃熱発電や有機性廃棄物からのメタンガス回収等が含まれる。これは廃棄物管理分野における温室効果ガス対策に関連する。EUにおいては、廃棄物管理制度について、3R政策を理念から法的制約性を有する実効性を持たせること、輻輳する制度を単純化していくことを制度設計の基本としている点が特徴的である。循環経済を政策理念とする中国においては、最優先のReduceに関して単に量の縮減だけでなく、廃棄物の持つ危害性をも縮減することを明示している点は特徴的である。最終処分地制約、資源確保戦略、温室効果ガス対策といった展開と、3R政策は密接不可分であり、今後の取り組みが期待される。

参考文献

- 1) EPA (2010), U.S. Environmental Protection Agency 2010-2014 Pollution Prevention (P2) Program Strategic Plan
<http://www.epa.gov/p2/pubs/docs/P2StrategicPlan2010-14.pdf>
- 2) EPA (2005), Resource Conservation Challenge (RCC) 2005 Action Plan Version 1
<http://www.epa.gov/epawaste/rcc/resources/act-plan.pdf>
- 3) EPA(2008), 2009–2014 EPA STRATEGIC PLAN CHANGE DOCUMENT, For Public Review
http://epa.gov/ocfo/plan/pdfs/strategic_plan_change_document_9-30-08.pdf
- 4) DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on waste and repealing certain Directives(2008), 19 November 2008 枠組み指令
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0003:EN:PDF> (En)
- 5) Christian Fischer(2009), EU waste policy: development and achievements, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
- 6) European Environment Agency(2009), Diverting waste from landfill - Effectiveness of waste-management policies in the European Union
http://www.eea.europa.eu/publications/diverting-waste-from-landfill-effectiveness-of-waste-management-policies-in-the-european-union/at_download/file (En)
- 7) Thomas Schmid-Unterseh (2009), Extended producer responsibility – The German experience. International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan

- 8) Roy Hathaway (2009), UK policy developments in support of 3R, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
- 9) Aldo Ravazzi Douvan (2009), Italian approaches on 3R developments, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
- 10) 環境省(2009), 環境白書
- 11) Ministry of Environment HP, Enactment & Amendment 環境法令集
http://eng.me.go.kr/content.do?method=moveContent&menuCode=law_law_his_amendment (En)
- 12) Ministry of Environment (2007), Wastes Control Act
<http://eng.me.go.kr/file.do?method=fileDownloader&attachSeq=984> (En)
- 13) Ministry of Environment (2008), Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources
<http://eng.me.go.kr/file.do?method=fileDownloader&attachSeq=1608> (En)
- 14) June-Woo Park (2009), 3R Policies of Korea, Ministry of Environment HP
http://eng.me.go.kr/board.do?method=view&docSeq=195&bbsCode=res_mat_policy (En)
- 15) Ministry of Environment (2008), Promotion of Installation of Waste Disposal Facilities and Assistance, etc. to Adjacent Areas Act
<http://eng.me.go.kr/file.do?method=fileDownloader&attachSeq=1611> (En)
- 16) Ministry of Environment (2008), Korea's 3R Policy
http://search.korea.net:8080/intro_korea2008/society/02_re.html (En)
- 17) Anne Choate(2008), Landfill Analysis Overview, EPA Organics Workshop May 13, 2008 最終処分とGHG 引用なし
http://epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/Landfill_Briefing_final.pdf
- 18) 日中友好環境保全センター, 中華人民共和国 循環型経済促進法
http://www.zhb.gov.cn/japan/CNE/CNE04_78.htm (Jap)
- 19) Jinhui Li(2009), Summary policy and legislative tools in promoting waste management under circular economic model in China, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
- 20) Ming Chen(2005), End-of-Life Vehicle Recycling in China Now and the Future, JOM October 2005
<http://www.springerlink.com/content/58543mn7682747g7/fulltext.pdf?page=1> (En)
- 21) 王舟, 小幡 範雄, 周偉生(2007), 日中比較からみた中国の自動車リサイクル事業の現状と課題, 政策科学 15-1, p83-97
http://www.ps.ritsumei.ac.jp/assoc/policy_science/151/15107ou.pdf (Jap)
- 22) Ngô Kim Chi(2009) 3R Policy development and solid waste management status in Vietnam, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
- 23) 59/2007/ND-CP 固形廃棄物管理法
<http://vea.gov.vn/VN/vanbanphapquy/quyphapphapluat/Pages/Nghịđịnhcủachínhphủsố59.aspx> (Vn)
- 24) 174/2007/NĐ-CP 固形廃棄物環境保全費用負担規定
<http://vea.gov.vn/VN/vanbanphapquy/quyphapphapluat/Pages/Nghịđịnh1742007củachínhphủvàphiBVMTđóivớicTR.aspx> (Vn)
- 25) 43/2007/QĐ-BYT 医療系廃棄物管理規制
<http://vea.gov.vn/VN/vanbanphapquy/quyphapphapluat/Pages/Quyếtđịnhcủabộtrưởngbộytế số43.aspx> (Vn)
- 26) 23/2006/QĐ-BTNMT 有害廃棄物リスト
<http://vea.gov.vn/VN/vanbanphapquy/quyphapphapluat/Pages/Quyếtđịnh.aspx>
- 27) Vietnam Government(2009), National strategy on Integrated SWM to 2025 and vision to 2050 Vietnam(2149/QĐ-TTg) 廃棄物管理の長期計画
<http://vea.gov.vn/VN/vanbanphapquy/Pages/ChiếnlượcQuốcgiavềquảnlýtổnghợpchấtthảirándếnăm2025,tầmnhìndếnnăm2050.aspx> (Vn)
- 28) Vietnam Environment Administration HP 処分場問題、紙パルプ工業への3R適用トピックス記事
<http://vea.gov.vn/VN/Pages/trangchu.aspx> (Vn)
- 29) 日中友好環境保全センター, 中華人民共和国 固体廃棄物環境汚染防止法

- http://www.zhb.gov.cn/japan/CNE/CNE04_14.htm (Jap)
- 30) Jakub Wejchert(2009), EU policies on the Sustainable Management of Resources, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 31) Oh, Gil Jong(2009), 3R and Waste Management Policy and Outcome in Korea, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 32) EPA(2006), 2006-2011 EPA strategic plan
http://www.epa.gov/ocfo/plan/2006/entire_report.pdf
 - 33) EPA(2004), Resource Conservation Challenge Strategic Plan WHAT CAN YOU SAVE TOMORROW? Five Year Plan
<http://www.epa.gov/osw/rcc/resources/strat-plan.pdf>
 - 34) Hideto Yoshida(2009), Japan's Experiences of Policy Developments on 3R and Waste Management, International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 35) Ministry of Environment (2007), Resource Recirculation Policy of Korea
http://search.korea.net:8080/intro_korea2008/society/02_re.html (En)
 - 36) EPA(2008), MSW CHARACTERIZATION METHODOLOGY, Municipal Solid Waste (MSW) in the United States, U. S. EPA HP
<http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/pubs/06numbers.pdf>
 - 37) 環境省(2009), 第二次循環型社会形成推進基本計画
 - 38) EPA(2009), Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008, Municipal Solid Waste (MSW) in the United States, U. S. EPA HP
<http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/msw2008rpt.pdf>
 - 39) Ministry of Environment (2009), 2008 waste generation, treatment, 廃棄物統計書 最新 韓国語ページからアクセス 韓国語のみ
<http://library.me.go.kr/dliwebme/components/searchir/detail/popup.aspx?cid=199849> (Ko)
 - 40) EPA(2009), Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Detailed Tables and Figures for 2008, Municipal Solid Waste (MSW) in the United States, U. S. EPA HP
<http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/msw2008data.pdf>
 - 41) EC, eurostat, Municipal waste by type of treatment
EU27 及び国別の処理内訳別 MSW 廃棄量原単位 1997 年から 2008 年 eurostat→tsien130 で検索。焼却 incinerated と最終処分 landfilled の2つの表をタブ切り替えて表示 データ表のコピーはできない
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/product_details/dataset?p_product_code=TSIEN130
 - 42) 環境省(2009), 一般廃棄物処理実態調査票
 - 43) Ministry of Environment (2009), 2009 Environmental statistics yearbook 環境統計書 最新だが韓国語ページからしかアクセスできない
<http://library.me.go.kr/dliwebme/components/searchir/detail/popup.aspx?cid=198771> (Ko, En)
 - 44) EC, eurostat, Data Centre on waste
EU 各国の容器包装類品目別の発生量データ(人口データもあり)(2007, 2010. 2. 20 時点で最新)(エクセル、コピーした)表1は発生・リサイクル量(ごみ発電焼却、外部への輸出を含む)、表2は輸出货量、表3は輸入量

Table 1: Quantities of packaging waste generated in the Member State and recovered or incinerated at waste incineration plants with energy recovery within or outside the Member State

Table 2: Quantities of packaging waste sent to other Member States or exported outside the Community for recovery or incineration at waste incineration plants with energy recovery

Table 3: Quantities of packaging waste generated in other Member States or imported from outside the Community and sent to the Member State for recovery or incineration at waste incineration plants with energy recovery

- http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/documents/Packaging_2009_11_26_publication.xls
- <http://ec.europa.eu/environment/waste/packaging/data.htm> 過去データはここ
- 45) <http://www.calrecycle.ca.gov/>
 - 46) 環境省(2008), 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査の概要(平成 20 年度)
http://www.env.go.jp/recycle/yoki/c_2_research/research_03.html
 - 47) EEA(2010), CSI 017 - Generation and recycling of packaging waste – Assessment
容器包装指令評価
http://themes.eea.europa.eu/IMS/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131825/IAssessment1234521865625/view_content
 - 48) Sakai Shin-ichi, Ota Shizuko, Kondo Yoshiyuki(2009), Unintentional POPs inventories in East Asian Countries, 3rd Workshop on Reduction of Unintentional POPs in East Asian Countries, 1st-2nd October 2009
 - 49) EU dioxin emission inventory stage II (volume 1), 2000
 - 50) EU dioxin emission inventory stage II (volume 3), 2000
 - 51) United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, National Implementation Plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, April 2007
 - 52) U.S. EPA. An Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the U.S. for the Years 1987, 1995, and 2000 (EPA/600/P-03/002f, Final Report, November 2006).
 - 53) 環境省(2008), 日本の廃棄物処理 平成 18 年度版
 - 54) 環境省(2008), ダイオキシン類の排出量の目録(排出インベントリー)
 - 55) Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2008 Revision, <http://esa.un.org/unpp>, Tuesday, February 23, 2010
 - 56) Sakai, S (2000) Material Cycles Science Concept, Environmental Science and Pollution Research, 7[4], 225-232
 - 57) Maria Victoria Peeler (2009), Reducing toxic threats and waste management control. International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 58) Lars hylander (2009), Swedish approaches on 3R developments. International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 59) European Commission -Directorate- General Environment: Study on Hazardous Household Waste (HHW) with a Main Emphasis on Hazardous Household Chemicals (HHC) – Final Report, WRC: CO 5089-2 (2002)
 - 60) Misuzu Asari (2009), Perspectives on household hazardous waste management. International Workshop on 3R and Waste Management, 2009, Kyoto City, Japan
 - 61) 中央環境審議会循環型社会計画部会(第 50 回)(2009), 発生抑制の概念整理と循環的な利用による効果の試算結果について
 - 62) EPA(2003), WasteWise: Climate Benefits From Reducing Waste (Program Snapshot)
<http://www.epa.gov/waste/nonhaz/municipal/pubs/ghg/clim-ww.pdf>

第6章 家庭系有害廃棄物の保有・廃棄動態と回収試行、およびそのフィージビリティ

分担研究者 酒井伸一、浅利美鈴 京都大学環境科学センター

坪内俊明、堀寛明、濱口弘行、三浦貴弘 京都市環境政策局

6.1 研究の背景及び目的

今日、家庭で使用される製品は多岐に渡り、排出される廃棄物の素材、形状を見ても様々なものがある。廃棄される多種多様な製品の中には、中身を使い切っていない場合に回収・処理時に爆発する危険性のあるスプレー缶や揮発性有機化合物を含む塗料のように、環境やヒトの健康に悪影響を与えるような有害性を持つ製品がある。このような有害物質を含む製品が一般廃棄物に混入することにより、作業時の爆発や処理時の環境汚染、不法投棄による有害物質の土壌・水系への流出が起こる可能性があると考えられる。また家庭に長期保管されている製品については、容器劣化による液漏れや製品そのものの腐食・変質の危険性が懸念される。

欧州連合（EU）では、家庭で使用される製品に含まれ、有害性を引き起こす化学物質を、家庭系有害化学物質 HHC（Hazardous Household Chemicals）と定義し、これら化学物質に焦点を当てた家庭系有害廃棄物（Household Hazardous Waste ; HHW）対策を始めつつある^[1]。また、個別製品（群）に対する取り組みとして電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する RoHS 指令^[2]や全種類の電池・蓄電池に含まれる特定有害物質の使用を制限し、生産者の回収・リサイクルを義務づけた廃電池指令^[3]が定められている。またアメリカでは EPA が各自治体に HHW の分別回収を要請し、回収事業が増えてきている^[4]。

我が国では特別管理一般廃棄物及び個別リサイクル法対象製品以外の製品については分別回収及び処理基準がなく、回収や処理を自治体に任せている状況であるが、回収時に爆発、引火の危険性のあるもの、有害性が懸念されるものは、排出禁止物と呼ばれ自治体では回収が行われていないことが多い。このような製品については販売店に相談または回収するように自治体が指示を出しているが、実際に回収を行っている販売店は少なく、利用者も少ないことが伺える^[5]。一方で排出禁止物が自治体回収に排出されている経験をもつ自治体は約8割にのぼるとの報告がある^[6]。市への排出が可能な製品でも、指定以外の方法で排出されている状況が伺え、このような不適正排出による事故や環境汚染が懸念される。また、これらの製品が家庭内にためこまれることで、腐食等から環境汚染につながるものが懸念される。よって、これらの家庭系有害廃棄物の適切な管理に向け、製品の家庭への流入や使用後の排出、家庭内での退蔵状況を把握することが大きな課題である。

そこで、まず家庭系有害廃棄物の管理の現状を京都市とドイツの2都市（ミュンヘンとフライブルグ）において調査することとした。管理の方針と分別回収が、それぞれの都市でどのようになされているかを知ることが目的である。さらに、家庭系有害廃棄物の対象となる品目として、蛍光管、乾電池（一次電池）、二次電池、小型電子機器、電源コード類、CD/DVD、農薬・劇薬・毒物、溶剤塗料・絵の具等、家庭用化学薬品等、水銀体温計、使い捨てライター、医薬品、注射器・注射針、自動車バッテリーについて、どの程度の量が発生するのかわかるためのフロー推定を行うこととした。

アンケート調査などにより、家庭系有害廃棄物に関する保有量及び排出実態を調査した研究が報告されている⁷⁻⁸⁾が、消費者が間接的に回答した保有量だけでは、普段確認しないような場所に保管されている製品の把握や、残存量を含めた家庭内での保管状況を把握することは困難である。これらを把握することで、回収できていない家庭系有害廃棄物の量、製品ごとの退蔵に至る経緯及び長期保管によるリスクを明らかにすることができると考えられる。そこで、家庭における有害・危険保有物の実態や市民意識を把握するために、家庭訪問調査を実施した。また、海外の回収モデル等も参考に、それらの回収試行を行った。

6.2 研究方法

6.2.1 京都市と欧州の回収方法の現状把握

家庭系有害廃棄物（HHW）回収の現状を、京都市とドイツでそれぞれ調査した。京都市で実施されている資源物回収システムには、ステーション方式による定期収集、公的施設における常設の拠点回収、地域の美化清掃などのイベント時における臨時回収（イベント回収）、地域の自主回収を支援するコミュニティ回収などがあるが、このうちHHWの一部が回収されている拠点回収を中心に調査することとした。HHW回収システムが用意されているドイツにおいては、人口規模が京都市と類似するミュンヘン市、および環境先進都市といわれているフライブルグ市の資源物回収等に関する調査を行った。具体的には、本研究プロジェクトの分担研究者である浅利美鈴助教（京都大学環境科学センター）が、ミュンヘンとフライブルクにおいて、現地調査、情報収集を行った。

6.2.2 家庭系有害廃棄物（HHW）のフロー推定

HHWの品目別のフロー推定は、各品目の全国的なフローを把握し、人口比率から京都市における消費量を推計し、回収実績値や回収事業者、リサイクル事業者、品目ごとの業界団体へのヒアリングから、リサイクル回収量を推計した。この方法が適用できない品目については、京都市のフロー推定として、市民アンケート調査結果、ごみ細組成調査結果等を用いて推定を進めた。

6.2.3 家庭訪問調査

本調査では、各家庭を我々の調査メンバーが訪問し、保有している家庭系有害製品を、その家庭の人と一緒に全て出し、保有点数をカウントするという手法を取った。このように第三者が各家庭に入り、部屋ごとに該当製品がないか確認することで、保有者が存在を忘れてしまっているような製品を含めた保有数量をカウントした。また、出てきた製品一つひとつについて保有理由を質問することで、使用品と退蔵品の区別を行い、退蔵の起こる経緯についても把握した。さらに、保管場所についても確認を行うことで、保管によるリスクについて考察した。

調査世帯は居住年数、居住形態、居住人数の基本属性が均等になるように調査対象15世帯を選定した。調査期間は2010年12月1日～2011年1月12日である。調査対象とした製品を表6-1に示した。

表 6-1 点数、重量及び残存量を調査した対象製品

大分類	小分類	点数	重量(容器込み)	残存量(中身)
家庭用工作・大工用品	塗料・溶剤	●	●	●
	接着剤	●	●	×
	インクカートリッジ	●	●	×
洗剤・磨き剤	洗剤	●	●	●
	磨き剤	●	●	×
殺虫剤	殺虫剤	●	●	●
	蛍光灯	●	×	×
電気機器	電球	●	×	×
	LED	●	×	×
	筒型一次電池	●	●	×
	ボタン電池	●	●	×
	筒型二次電池	●	●	×
	小型家電	●	×	×
	カーバッテリー	●	×	×
自動車用品	エンジンオイル	●	●	●
	メンテナンス用品	●	●	●
	灯油	●	●	●
ガス・オイル類	カセットボンベ	●	●	●
	使い捨てライター	●	●	×
	その他オイル	●	●	●
	人体用スプレー品	●	●	●
その他スプレー品・化粧品	その他スプレー品・化粧品	●	●	●
	水銀式体温計	●	●	×
	消火器	●	●	●
その他	その他	●	×	×
	15世帯合計保有点数(点)	2,157	1,562	781

インクカートリッジ(パソコン内蔵分)、電池(使用中の家電製品に内蔵されている分)、小型家電(使用中)、灯油(買い置き・使用中)、カーバッテリー(使用中)についてはカウントを行っていない。

6.2.4 回収モデル実験

平成24年2月から3月の間、京都市内の7地域を選定し、各地域とも土日を含む計3回、幅広い有害・危険物等を対象に、移動式資源回収をモデル試行した。各地域の公園等に、1回当たり概ね2時間程度、回収車両とともに回収ボックス等を設置し、住民の方に呼びかけた上で回収及び参加者へのアンケートを実施した。

実施地域及び日程を表 6-2 に整理した。まち美化事務所（以降、まち美化と呼ぶこともある）所管区ごとに一地域ずつ実施することとして、市内 7 地域を選定した。具体的には、徒歩、自転車にて市民に持参してもらえよう、学区を基本単位とした。各地域とも土日を含む計 3 回の回収を実施した。1 回当たりの回収は概ね 2 時間で、具体的な日時・場所については、地域と調整のうえ決定した。

対象とした回収品目は表 6-3 の通り 22 品目である。このうち 13 品目が有害・危険物に分類し得るものと考えられる。ここでは有害・危険物を中心とするが、参考として他の品目についても触れている。

周知方法としては、対象とする学区ごとに具体的な場所、日時等を記載したチラシを作成し、新聞折り込みで周知を行った。また、5 地域（北部、東部、南部、西京、伏見まち美化事務所）では、新聞折り込みの他に、地元の回覧版等を利用した周知や、まち美化所有の車で、車上スピーカーによる追加的な周知を行った。

回収方法としては、京都市職員は 4 名以上、委託業者として、コンサルタント会社より 2 名、アルバイト 2~4 名、危険物取扱担当者 2 名の体制で実施することとして、現地に到着後、テント、受付机、資源物回収箱等で簡易な回収場所（概ね 8m×6m 四方）を確保した。市民からの回収は、まず、事前に配布した周知チラシの中の回収票に、排出品目の種類及び量を記入し、持参（回収票への記入を忘れた方等は、当日受付にて記入）頂く。そして、持参されたもののうち、薬品等の有害・危険物については、専門業者に直接手渡す。その他、京都市が資源物として回収している蛍光管等については、京都市の職員が受け取り品目別に設置した回収ボックス等により順次収納した。回収作業は概ね 2 時間で、後片付けし、撤収する。なお、新たに回収を実施する石油類や農薬等については、数量が増えることにより、市の火災予防条例に定める量が持ち込まれると想定されることから、同条例に定める対策を講じるとともに、資格者（甲種危険物取扱者等）の立会いの下で、回収を実施した。回収物の処理については表 6-4 に示す通りとした。

表 6-2 モデル試行地域及び日程（平成 23 年度）

まち美化事務所	行政区・学区	日時・場所					
		1 回目		2 回目		3 回目	
北部	北・紫竹	2/18(土)	9:00-12:00	2/18(土)	12:00-14:00	3/8(木)	10:00-12:00
紫竹小学校（北区紫竹下園生町 26）							
東部	左京・岩倉	2/19(日)	9:30-11:30	2/29(水)	9:30-11:30	3/16(金)	13:30-15:30
岩倉出張所（左京区岩倉中町 403）							
山科	山科・西野/山階	2/29(水)	9:00-11:00	3/3(土)	9:00-11:00	3/8(木)	9:00-11:00
山科中央公園（山科区西野阿芸沢町）							
南部	南・東和	2/22(水)	9:00-11:00	3/11(日)	10:00-12:00	3/21(水)	9:00-11:00
明田公園（南区東九条南鳥丸町 12）							
西部	右京・太秦	2/26(日)	9:00-12:00	3/14(水)	9:00-12:00	3/25(日)	9:00-12:00
笑顔ランド太秦（右京区太秦桂ヶ原町 9-1）							
西京	西京・大原野	3/20(火・祝)	午前	3/21(水)	午前	3/24(土)	午前
		大原野総合自治会館 （西京区大原野灰方町 451-2）		上里自治会館（西京区大原野上里南ノ町 161）		大原野総合自治会館	
伏見	伏見・淀南	2/25(土)	9:30-11:30	3/7(水)	9:30-11:30	3/10(土)	9:30-11:30
		美豆小学校 （伏見区淀美豆町 1244）		府立消防学校（八幡市八幡樋ノ口 15-15）		美豆小学校	

表 6-3 対象品目（アンダーライン：有害・危険物である可能性のある品目）

既に京都市が拠点回収を行っているもの（16品目）	普段、京都市がリサイクル又は収集を行っていないもの（6品目）
<ul style="list-style-type: none"> ● <u>インクカートリッジ</u> ● 紙パック ● <u>乾電池</u> ● 記憶媒体類（100個程度まで） ● <u>蛍光管</u> ● <u>小型家電</u> ● <u>小形二次電池（充電機）</u> ● 古紙類（新聞・雑誌・段ボール） ● 雑紙類（古紙類以外のきれいな紙） ● <u>水銀体温計</u> ● <u>使い捨てライター</u> ● てんぷら油 ● <u>刃物類</u> ● 古着類（45リットル袋5袋まで） ● <u>ボタン電池</u> ● リユースびん 	<ul style="list-style-type: none"> ● 剪定枝 ● <u>石油類</u> ● <u>医薬品・農薬</u> ● <u>化学薬品・塗料・ワックス・絵の具</u> ● <u>洗浄剤</u> ● <u>中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶</u>

表 6-4 本モデル試行における回収物の処理方法

回収品目	処理（リサイクル）
<ul style="list-style-type: none"> ● 石油類 ● 医薬品・農薬 ● 化学薬品・塗料・ワックス・絵の具 ● 洗浄剤 ● 中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶 ● 水銀体温計 ● 使い捨てライター <p>（7品目）</p>	<p>性状に応じて、焼却又は中和処理 （水銀体温計については、金属水銀を取り出しリサイクル）</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 剪定枝 	<p>チップ化</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● てんぷら油 ● 蛍光管 ● 乾電池 ● リユースびん ● 紙パック ● ボタン電池 ● 充電式電池 ● 小型家電 ● 記憶媒体類 ● 刃物類 ● インクカートリッジ <p>（11品目）</p>	<p>（品目ごとの回収量を計量、報告のうえ、拠点回収と同様の方法でリサイクル）</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● 古紙類 ● 雑がみ ● 古着類 <p>（3品目）</p>	<p>製紙会社に有償売却（古紙・雑がみ：圧縮処理後製紙原料に、古着類：破碎処理、RPF化後ボイラー燃料に）</p>

6.3 結果と考察

6.3.1 京都市と欧州の回収方法の現状把握結果

京都市では、拠点回収制度として、各区役所・支所・各まち美化事務所・商業施設の拠点に設置している専用回収容器にて回収リサイクルが行われている。対象は、紙パック、乾電池、リターナブルビン、蛍光灯、使用済みてんぷら油が中心であったが、最近では、品目を急速に充実させている。平成23年度末現在では、上京リサイクルステーション、14の区役所・支所、7のまち美化事務所の22か所において、表6-4左列に掲げる16品目の全部又はほとんどを常設の拠点として回収を行っている。京都市の人口は1,473,416人、面積827.90km²（2011年10月時点）であり、常設回収拠点のネットワークとしては、ドイツと遜色ないレベルに達している。なお、以下の解析に当たっては、データが蓄積されている紙パック等5品目としている。

HHW対象となる乾電池の専用回収ボックスにて回収（平成18年12月末の拠点数は81箇所）され、平成18年度の回収実績は59tであった。蛍光灯は、回収協力店にて買い替えの際に持ち込むこととされ、近くに回収協力店がない場合は、従来どおりに家庭ごみとして回収している。平成19年3月末の拠点数は189箇所、平成18年度の回収実績は13t（H18.10～H19.3の回収実績）である。拠点回収実績を表6-5に示した。これによると、拠点回収においては、家庭系のみでは361.5トンが回収された。事業者持込みを含むと、377トンの回収量となる。家庭系消費量に対する拠点による回収率は、0.6（リターナブルビン）～9.0（乾電池）%（乾電池）であった。また、家庭系全回収量に占める拠点回収の寄与は、0.9（リターナブルビン）～100%（使用済みてんぷら油）となった。なお、蛍光灯については、平成18年度実績が半年間のものであることから、これを2倍して、推定年間量とした。品目別にみると、乾電池は、53トン（事業者の持込みを除く）が回収され、拠点回収寄与は47.8%であった。蛍光灯は、16.5トンが回収され（実績値を2倍し、事業者持込みを除く）、拠点回収寄与は23.9%であった。乾電池は、事業系を合わせると59トンの回収実績であるが、回収拠点は、81ヶ所であり、1ヶ所あたり、730kg/年程度の回収量となる。資源物回収社会実験においても、概ね、10-15kg/週前後、年換算で520-780kgの回収が観察されたことから、他の品目に比べて、市民の利用が積極的であることが伺える。

表 6-5 拠点回収の回収実績、回収率

	家庭系消費量	家庭系全回収量	拠点回収量※	家庭系全回収率	拠点による回収率	全回収量への寄与	世帯数(万世帯)/拠点	拠点数
	A	B	C	B/A×100	C/A×100	C/B×100		
	t	t	t	%	%	%		
紙パック	2,207	384	100	17.4	4.5	26.0	0.23	292
乾電池	592	111	53 (59)	18.8	9.0	47.7	0.82	81
リターナブルビン	9,318	6,743	58	72.4	0.6	0.9	1.39	48
蛍光灯	457	69	16.5 (26)	15.1	3.6	23.9	0.32	1,174
使用済みてんぷら油	2,316	134	134	5.8	5.8	100.0	0.06	209
計	14,890	7,441	361.5	50.0	2.4	4.9		

※カッコ内の数値は、事業者を含む。

蛍光灯の回収量は、平成18年度実績は半年間のものであることから、ここでは、2倍とし、推定年間量とした。

資源回収、HHW回収が普及しているドイツにおける事例として、ミュンヘン市（人口規模が京都市に類似）、フライブルク市（環境先進都市といわれている）の2都市における資源物等回収拠点の調査結果は次のとおりである。ミュンヘン市は、ドイツ第三の規模で、人口1,325,697人（2006年11月時点）、面積310.43km²である。一方、フライブルク市は環境施策で先進的な都市と知られ、人口215,966人（2005年12月時点）、面積153.06km²である。人口は伏見区（124,511人、2011年10月時点）に近い。

ミュンヘン市では、市内 12 箇所にて常設資源物回収拠点があり、廃棄物処理会社ミュンヘンが運営を行っている(一か所あたり 110 千人)。日曜日を除く週 6 日間の昼間時間帯、月 11:00~19:00、土 7:30~15:00、その他 8:00~18:00 で回収がなされている。無料の引取品目としては、①不活性な建築廃材(タイル、庭石、モルタル、石膏、コンクリート、外壁、煉瓦、鉛クリスタルガラス、多孔コンクリート、ガラス製の部品、ティート等の耐火ガラス製品、陶磁器、磁器、板ガラス等)、②木材(板、箱、家具、パーティクルボード、化粧版を貼った木材、塗装済み木材、内装用木材部品、防腐処理木材、ガラス無しの両開き戸、窓枠、腐敗・汚染した建築木材)、③庭ごみ(長さ 1.5m 直径 30 cm 以下の枝、直径 30cm 以下根っこ)、④資源物と包装(古着・古靴、電線(家庭用電源ケーブル)、カートン包装、厚紙、包装用プラスチック、複合材料包装、金属製の包装(缶)、ビンのコルク)、⑤有害ごみ(アスベスト・セメント製品、アスベスト含有家庭器具、鉱物繊維廃棄物、廃電気機器、廃電子機器、大型家電機器、冷蔵庫及び冷凍庫、自動車バッテリー、蛍光灯、写真用化学薬品、有毒化学薬品、スプレー容器、フロンガス入りスプレー容器、水銀含有製品)⑥その他ごみ(白熱電球、灰、塗料、接着剤、タイプライタのリボン、塗料の付いた金属包装、カーペットの残り、壁紙の残り、強く汚染した資源物、塗装作業用フィルム等)である。その他ごみ(Restabfall)はドイツの廃棄物処理に特有の用語で、材料リサイクルに適さない廃棄物をさす。ドイツでは、材料リサイクルに適する廃棄物は材質ごとの容器に分別投入するので、材料リサイクルに適さない廃棄物は手もとに残ることになる。それでこの名称が付けられた。この回収は自治体が有償で行う。

フライブルクでは、市内 3 か所に常設資源回収拠点(Recyclinghof)がある(一箇所あたり 72 千人)。市民は、家庭からの資源物および有害・危険ごみを引き渡すことができる。廃棄物処理&市清掃フライブルク有限会社が運営を行っている。週に 2~4 日間、時間帯は日中の午前・午後のいずれか両方に、開設されている。無料の引取品目は、①古着・古靴、②アルミニウム、③CD, DVD, ビデオカセット、④テレビ、ラジオ、PC、レンジ、冷蔵庫・冷凍庫等の使用済み電気・電子機器、⑤自転車、⑥ビンのコルク、⑦家具、パーティクルボード、木製品(生木、塗装済み、コーティング済み問わず)、⑧金属部品(ベッドの床座、なべ、パイプ、暖房器具等)、⑨庭ごみ(剪定枝等)、⑩期限切れ医薬品、廃油、薬品、塗料、農薬、洗剤、酸等有害物質、⑪包装用プラスチックである。有料の引取品目は、①古タイヤ(4.5 ユーロ/本)、②建築廃材(洗面台、便器、タイル等)(14 ユーロ/0.5m³)となっている。

拠点回収場所で回収された有害物質は、品目別に次のとおり処理されている。自動車バッテリーは専門業者へ持込・販売、蛍光管・ランプは WEEE ルート、電池は電池回収財団により処理が行われている。また、水銀体温計については、フライブルグ市では業者に無償譲渡、ミュンヘン市では委託による処理が行われている。なお、アスベストは埋立処理、化学物質・薬品等は民間の専門業者への委託により焼却処理が行われている。2007 年のミュンヘン市の資源回収拠点における有害廃棄物受入実績は、受入量全体で 658,107 kg である(表 6-6)。内訳をみると、半数近くが塗料であり、次いで無機/鉱物性繊維、アスベストセメント、電池となっており、これらの廃棄物が有害廃棄物の約 9 割を占めている。回収拠点への持込者数は 70,447 件であったことから、ミュンヘン市の人口を 132 万人とすると、約 5%の市民が回収拠点を利用しているとうかがえる。また、持込 1 件あたりの受入量は 9kg、市民一人あたりの資源回収拠点への有害廃棄物排出原単位は 499g である。

表 6-6 ミュンヘン市における 2007 年の 12 資源回収拠点からの回収量

■廃棄物 (資源回収拠点 (ESP 資源回収拠点を含む))		■有害廃棄物	
廃棄物	回収量	廃棄物	回収量
トナーカートリッジ	3 t	古い塗料	112,082 kg
建築廃棄物	12,774 t	エアロゾル剤	9,607 kg
CD、DVD	4 t	鉛	138 kg
廃家電	2,419 t	化学肥料	3,031 kg
TV、モニター、電気電子機器	3,843 t	現像液	3,197 kg
庭ごみ	13,833 t	微細な化学物質	2,456 kg
ケーブル	63 t	定着液	2,067 kg
プラスチック製容器包装材	802 t	Hg	46 kg
コルク	5 t	アルカリ液	7,907 kg
冷蔵庫	1,272 t	Lösungsmittel hal (溶剤)	671 kg
オイルの入ったラジエーター	24 t	Lösungsmittel (溶剤)	4,796 kg
金属スクラップ	6,948 t	Konzentrate Met.F (濃縮物)	705 kg
非鉄金属スクラップ	191 t	油フィルター	1,042 kg
紙とダンボール	7,174 t	PCB-コンデンサー	207 kg
大型ごみ、燃やせるごみ	13,178 t	植物病虫害防除薬剤	1,521 kg
木質系	26,031 t	酸	5,810 kg
服、靴	813 t	Tenside (界面活性剤)	10,071 kg
合 計	89,377 t	乾電池	33,330 kg
市民一人あたり排出量	68 kg	アスベストセメント	84,307 kg
		Dispersionsfarben (分散塗料)	202,062 kg
		薬	7,505 kg
		無機/鉱物性繊維	107,504 kg
		KFZ-Batterien (電池)	57,508 kg
		Asbest G	4 St.
		LSTR	122,869 St.
		合 計	658,107 kg

■有害廃棄物について ←	
市民一人あたり排出量	499 g
Anlieferer (持込者数)	70,447 件
有害廃棄物合計+Anlieferer	9 kg

6.3.2 家庭系有害廃棄物 (HHW) のフロー推定結果

京都市における家庭系有害廃棄物 (HHW) 品目別フロー推定を、蛍光管、乾電池 (一次電池)、二次電池、小型電子機器、電源コード類、CD/DVD、農薬・劇薬・毒物、溶剤塗料・絵の具等、家庭用化学薬品等、水銀体温計、使い捨てライター、医薬品、注射器・注射針、自動車バッテリーについて行った。

まず、有害・危険物等の排出先について、京都市民約 1000 名を対象にネットアンケートを行った。過去に使用できなくなったり、残ったりして不用になった有害・危険物等の排出先を図 6-1 に示す⁹⁾。「お店、ガソリンスタンド、病院など」への排出は、石油類 (ガソリン、灯油など) が 62.5%と最も高く、次いで自動車バッテリーが 53.1%、ボタン型・小形充電式電池が 38.2%となっている。自動車バッテリーは、販売店等や車検時の交換が一般的であり、「自動車の定期点検時に交換してもらっている」割合と合わせると、約 95%が家庭系ごみ以外にて処理されている。一方、「市のごみ収集のときの家庭ごみ」への排出は、医薬品が 84.1%と最も高く、次いで使用済みライターが 74.8%、溶剤・塗料・絵の具が 70.0%となっている。

「市のごみ収集のときの資源ごみ」への排出と合わせ、医薬品、使用済みライターの 85%程度、刃物、溶剤・塗料・絵の具の 80%程度、水銀体温計、劇薬・毒物等の薬品類、農薬の 55%程度が家庭系ごみに排出されていると考えられる。また、消火器、水銀体温計、劇薬・毒物等の薬品類、農薬、石油類 (ガソリ

ン、灯油など)は、不用になったものの2割程度が家庭内にストックされていると考えられる。「その他困っているもの」としては「家電製品」、「家具」という意見が多く、それらの約4割が廃棄することなく、家庭内に溜められている。この排出先に関する市民アンケート調査結果を活用して、HHW品目別のフロー推定を行った。

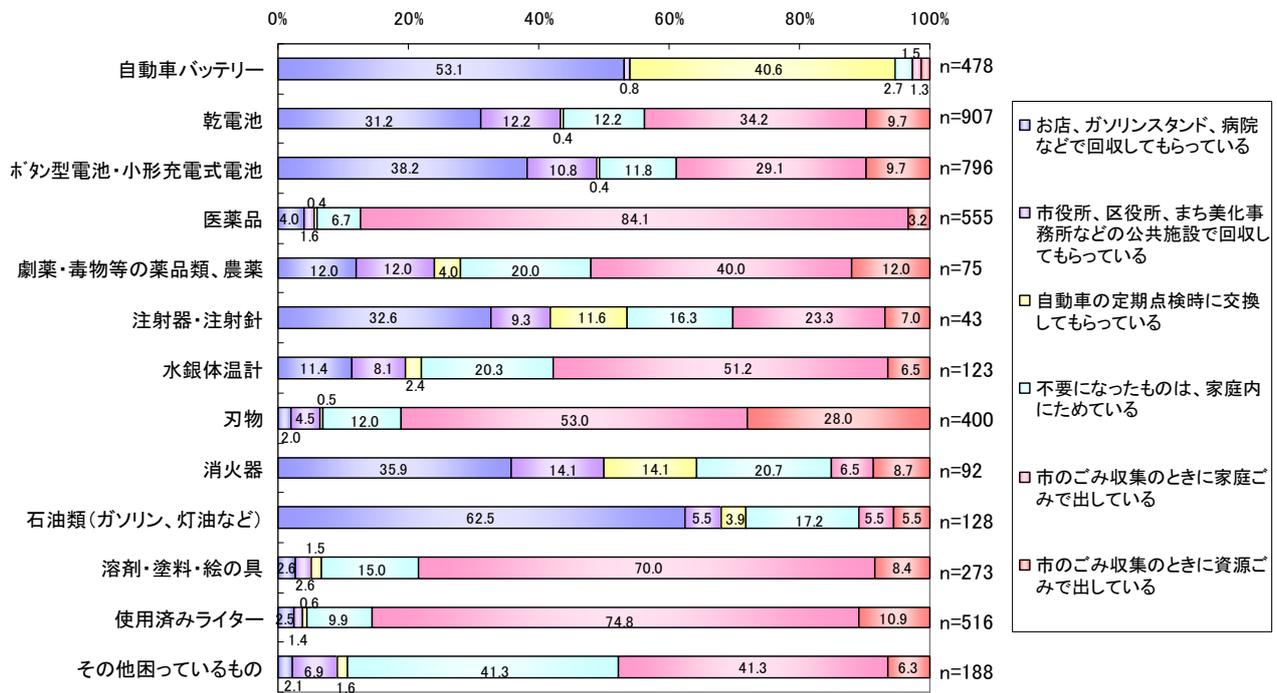


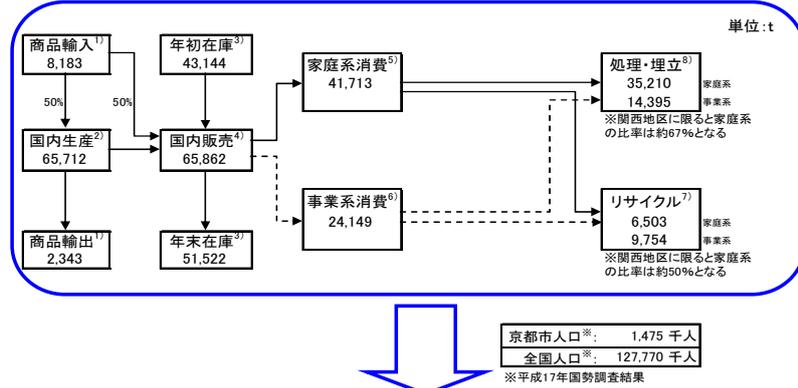
図 6-1 不要になった有害・危険物の排出状況

1) 蛍光管 (図 6-2)

蛍光管については、機械統計年報等から、国内フローを推計した。国内販売量は、販売個数量に規格別重量を乗じることにより、65,862 トンと推計された。家庭系、事業系の配分は、経済産業省委員会資料から計算し、家庭系消費量を 41,713 トン(63.3%)、事業系消費量を 24,149 トン(36.7%)となった。リサイクル量は、リサイクル事業者公表資料等から、16,257 トンとなり、このうち家庭系が 6,503 トン(40.0%)、事業系が 9,754 トン(40%)であるとした。この結果、国内回収率は、24.7%、家庭系に限ると、15.6%となった。

京都市におけるフローは、国内フローの人口比、および本市における回収実績値等により推計した。市内では、760 トンが販売されており、このうち、家庭系消費が 482 トン、事業系消費が 279 トンである。市民アンケート調査結果から、このうち、25 トンは家庭内ストックされると推定している。家庭系消費分の回収チャンネルは、本市による拠点回収と小売店等での店頭回収であり、回収量は、前者が実績(公表値は半年分の実績であることから、ここでは、これの2倍とした)から 16.5 トン(この他、9.5 トンが事業者からの持ち込み)、後者は差し引きにより 53 トンと推定された。差し引きは、家庭系消費量から、ストック量、家庭系ごみ混入量、拠点回収量を差し引いたが、家庭系ごみ混入量は、国内フローに基づく人口比で設定した。回収率は、家庭系+事業系で 22.1%、家庭系のみで 15.1%となり、国内回収率とほぼ、合致した。なお、事業系のみ回収率は、33.7%であり、家庭系回収率の2倍以上であった。

1. 国内の蛍光管マストフロー (H18)



2. 京都市における蛍光管マストフロー (H18)

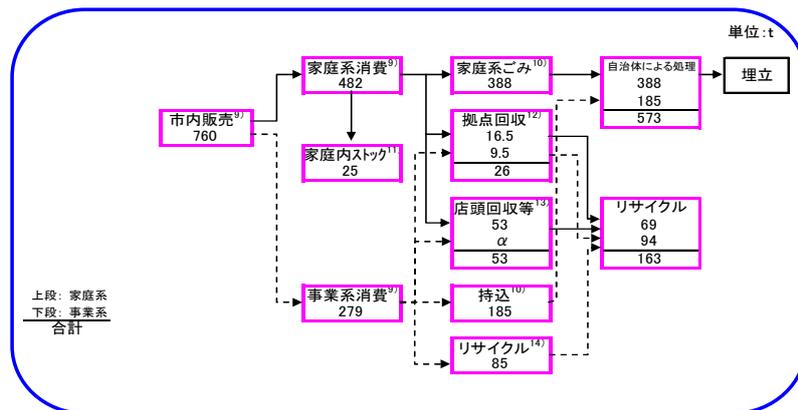


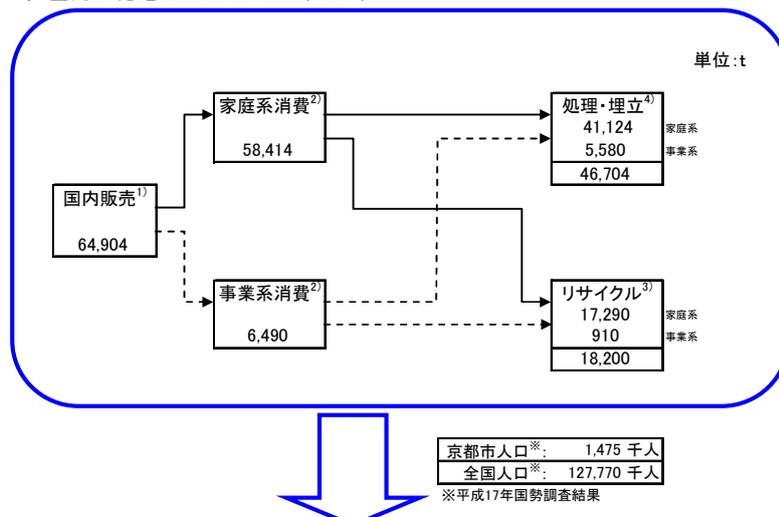
図 6-2 京都市における蛍光管の推定フロー(平成 18 年度)

2) 乾電池 (一次電池) ((図 6-3))

乾電池(一次電池: マンガン電池、アルカリ電池、リチウム一次電池)については、機械統計年報等から、国内フローを推計した。国内販売量は、販売個数量に規格別重量を乗じることにより、64,904 トンと推計された。リサイクル量は、リサイクル事業者へのヒアリングから、18,200 トンとし、このうち家庭系が 95% であるとした。この結果、国内回収率は 28.0%、家庭系に限ると 29.6% となった。京都市におけるフローは、国内フローの人口比、および本市における回収実績値等により推計した。市内では、749 トンが販売されており、このうち、90%の 674 トンが家庭系消費となる。市民アンケート調査結果から、このうち 82 トンは家庭内ストックにされるとした。家庭系消費分の回収チャンネルは、市による拠点回収とスーパーマーケット等での店頭回収であり、回収量は、前者が実績から 53 トン(この他、6 トンが事業者からの持ち込み)、後者は、市民アンケート調査結果による排出先比率から 58 トンと推定された。拠点回収分は、そのままリサイクル施設に搬入されるが、店頭回収分については許可業者が収集した後、一部(11 トン)がリサイクル施設に搬入される。他は、産業廃棄物等として処分されていると考えられる。事業系消費分は、拠点回収への持ち込みが 6 トンあり、さらに、排出事業所から業者収集によりリサイクルルートに渡る量が 24 トンある。回収率は、家庭系+事業系で 14.1%、家庭系のみで 10.8% となった。

乾電池回収を行っている都市の多くは全都清ルートによるリサイクルを利用しており、この回収実績(行政回収のみ、店頭回収は含まれない)から、人口比率で京都市の回収量を試算すると、133 トンとなる。本市実績の 59 トンは、これの 44%にあたる。このように本市の拠点による回収率が国内値に比べて低い理由は、市民の回収機会が少ないことが考えられる。本市においては、乾電池が定期収集対象になっていない。また、回収拠点数が比較的少ない(81 拠点、蛍光管では 209 拠点)。市民アンケート調査によると、身近な資源回収拠点で回収を希望する品目として、回答者の約 80%が乾電池をあげている。

1. 国内の乾電池マスフロー（H18）



2. 京都市における乾電池マスフロー（H18）

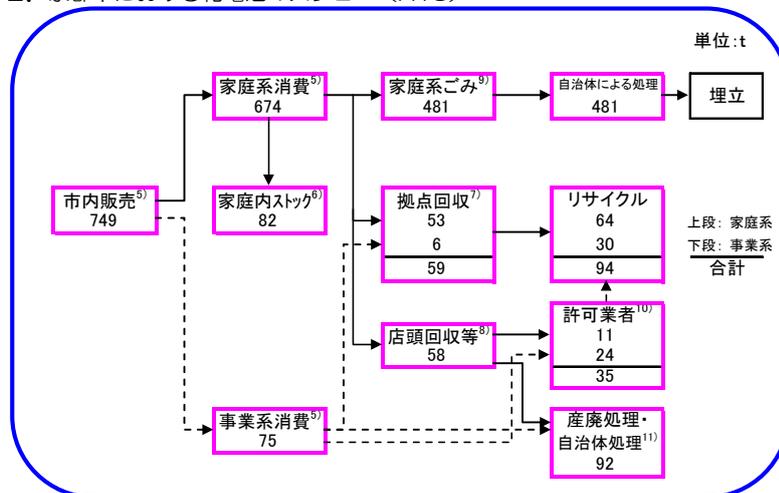


図 6-3 京都市における乾電池の推定フロー(平成 18 年度)

3) 二次電池 (図 6-4)

二次電池は、小形充電式電池のリサイクル活動を共同で行う団体として設置された有限責任中間法人 JBRC (Japan Portable Rechargeable Battery Recycling Center)における回収対象である、ニカド電池、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、および小型シール鉛電池を検討対象とした。なお、JBRC では、産業用途の二次電池も回収対象としているが、本フロー推定では、これらは対象としていない。二次電池は、家電製品等に含まれた形で流通するものが多いことから、販売、流通側からのフロー推計は困難である。このため、ここでは、業界団体等が取りまとめている廃棄、回収量、および京都市における調査結果から推計を行った。京都市における処理量は、電池工業会資料に示される国内の二次電池排出量に人口比を乗じて、85 トンとした。家庭系、事業系の配分は、本市有害・危険物調査結果による両者の比から設定した。家庭系は、69 トン、事業系(持込み)は、16 トンとなる。なお、この調査結果から直接、排出量を求めると、電池工業会資料から求めた排出量 85 トンの半分程度となった。

二次電池の回収チャンネルは、店頭回収のみが現状と考えられる。店頭回収量は、JBRC 国内回収実績から、人口比、および、店頭回収比率(20%、JBRC へのヒアリング)を乗じ、2.9 トンとした。この回収量に処理量を加え、家庭系消費量を 72 トンとした。なお、店頭回収への持ち込みは市民のみと仮定した。また、実際には、家庭内で使用済みとなり、保管されている退蔵分(ストック量)があると思われるが、ここでは考慮していない。事業系消費分は、持込みごみ組成から求めた値であるため、全量が処理されるものであり、

消費量=持込み量となる。市内販売量は、家庭系消費量と事業系消費量の合計とした。この結果、市内回収率は、家庭系では、4%、家庭系+事業系では、3.3%となった。二次電池の回収率については、経済産業省検討会資料等から、20%程度と推測される。これは、産業用使用分、すなわち、JBRC 回収のうち、店頭回収以外の 80%分を含む回収率であり、京都市フローにおいては、考慮していない。これを考慮すると、本市回収率は $14.1\%((2.9 \text{ トン} \div 0.2) / (88 + (2.9 \text{ トン} \div 0.2)))$ となる。

1. 京都市における二次電池マスフロー

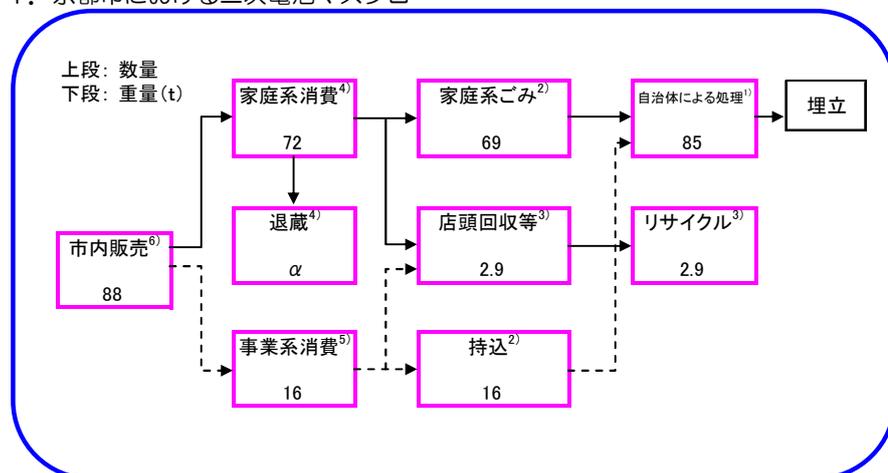


図 6-4 京都市における二次電池の推定フロー(平成 18 年度)

4) 小型電子機器

小型電子機器については、京都市の有害・危険物調査結果から、家庭ごみ混入分の単位重量 670g/本とし、小型家電、充電器、電卓および携帯電話の家庭ごみへの排出本数：16.9 本/トン、資源ごみの排出本数：5.8 本/トン、小型金属への排出本数：36.0 本/トン、ガラクタ類への排出本数：361.7 本/トンとした¹⁰⁾。平成 18 年度の家庭ごみへの混入量は、2,974 トン(262,660 トン×16.9 本/トン×670g/本×10⁻⁶)、資源ごみへの混入量は、63 トン(16,169 トン×5.8 本/トン×670g/本×10⁻⁶)、小型金属への混入量は、5 トン(193 トン×36 本/トン×670g/本×10⁻⁶)、ガラクタ類への混入量は、1,526 トン(6,296 トン×361.7 本/トン×670g/本×10⁻⁶)、合計 4,567 トンと推計した。なお、小型電子機器には、使用していない携帯電話やパーソナル・コンピュータなどが含まれ、家庭内ストックは多いと考えられるが、ここでは、小型電子機器の定義がひろく、ストック量の推定は困難であることから、推定は行っていない。

5) 電源コード類 (図 6-5)

電源コード類についても、既往のマスフロー情報が得られなかったことから、電源コード類を拠点により回収している他都市(水俣市ヒアリング)の回収原単位(90.84g/人・年)、および定期収集により回収している他都市(岩国市)回収原単位(20.99g/人・年)の平均値(55.92g/人・年)から 82,475 トンと推定した(図 6-5)。この量は、回収チャンネルを整備した場合の回収量であり、廃棄量とは異なることに注意が必要である。

・京都市における電源コード類マスフロー (H18)

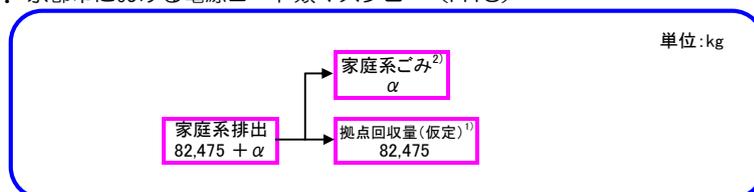


図 6-5 京都市における電源コード類の推定フロー(平成 18 年度)

6) CD/DVD (図 6-6)

CD/DVDについては、現時点では家庭系ごみに排出可能であり、回収チャンネルはないものとした。リユース(下取り、中古品引取り)ルートが存在するが、その量は不明であった。本市における排出量は、CD/DVDを拠点により回収している他都市(愛知県日進市)回収原単位(10.32g/人・年)から 15.216 トンと推定した。この量は、回収チャンネルを整備した場合の回収量であり、廃棄量とは異なる。ごみ細組成調査においても混入量は把握されていないこと、そもそもデータ保存が目的であることを考えると、現時点では廃棄量は少ないものと考えられる(図 6-6)。CD/DVDの国内フロー情報は得られていないが、CD-Rについては、世界生産量が 104 億枚、国内生産量がこの 8%という調査結果がある。CDおよびケース重量を 60g とすれば、国内流通量は、約 50,000 トンとなる。本市流通分は、人口比から、577 トンとなる。推定排出量 15 トンは、この 2.6%となる。実際には、輸入・輸出量が変わり、在庫の影響・家庭内保管期間の影響があることに注意が必要である。

1. 京都市におけるCD/DVDマスフロー (H18)

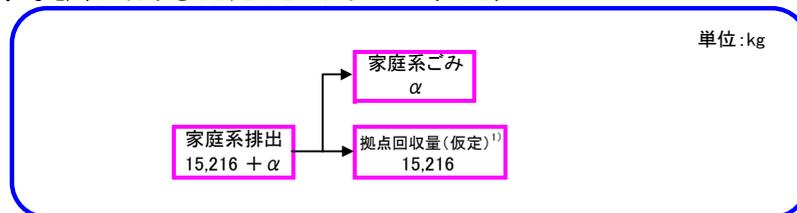


図 6-6 京都における CD/DVD の推定フロー (平成 18 年度)

7) 農薬・劇薬・毒物

農薬・劇薬・毒物については、京都市の有害・危険物調査結果から、家庭ごみに混入した家庭園芸用農薬(プラボトル入り)の単位重量: 47g/本、家庭ごみへの排出本数: 0.2 本/t と設定した¹⁰⁾。一方、市民アンケート調査結果によると、農薬等の排出先は、家庭ごみ: 1 に対し、資源ごみ: 0.3、拠点回収: 0.3、店頭回収: 0.4、家庭内ストック: 0.5 であった。ただし、拠点回収と店頭回収は厳密に区分された回答ではないと考えられることに注意が必要である。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの混入量は、2.5t(262,660t × 0.2 本/t × 47g/本 × 10⁻⁶)、資源ごみへの排出量は、0.7 トン(2.47 トン × 0.3)、拠点回収への排出量は、0.7 トン(2.47 トン × 0.3)、店頭回収への排出量は、1.0 トン(2.47 トン × 0.4)、合計 4.9 トンと推定された。また、家庭内ストック量は 1.2 トン(2.47 トン × 0.5)と推定された。

8) 溶剤塗料、絵の具等

溶剤塗料、絵の具等については、有害・危険物調査結果から、家庭ごみに混入した塗料・溶剤等の単位重量を 142g/本、また、資源ごみに混入した塗料・溶剤等の単位重量を 92g/本と設定した¹⁰⁾。さらに、家庭ごみへの排出本数 9.8 本/トン、資源ごみへの排出本数 2.3 本/トンとした。一方、市民アンケート調査結果によると、家庭からの排出先は、家庭ごみ: 1 に対し、拠点回収: 0.04、店頭回収: 0.06、家庭内ストック: 0.21 であった。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの排出量は、365 トン(262,660 トン × 9.8 本/トン × 142g/本 × 10⁻⁶)、資源ごみへの排出量は、3.4 トン(16,169 トン × 2.3 本/トン × 92g/本 × 10⁻⁶)、拠点回収への排出量は、14.6 トン(365 トン × 0.04)、店頭回収への排出量は、21.9 トン(365 トン × 0.06)、合計 403 トンと推定された。また、家庭内ストック量は、76.7 トン(365 トン × 0.21)と推定された。

9) 家庭用化学薬品等

家庭用化学薬品等については、有害・危険物調査結果から、家庭ごみ混入分の単位重量を 59g/本、資源

ごみ混入分の単位重量を 90g/本と設定した¹⁰⁾。さらに、家庭用化学薬品等の家庭ごみへの排出本数 33.4 本/トン、資源ごみへの排出本数 7.0 本/トン、小型金属ごみへの排出本数 2.0 本/トンとした。一方、市民アンケート調査結果によると、家庭からの排出先は、家庭ごみ：1 に対し、拠点回収：0.3、店頭回収：0.4、家庭内ストック：0.5 であった。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの排出量は、518 トン(262,660 トン×33.4 本/トン×59g/本×10⁻⁶)、資源ごみへの排出量は、10 トン(16,169 トン×7.0 本/トン×90g/本×10⁻⁶)、小型金属ごみへの排出量は、0.03 トン(193 トン×2.0 本/トン×90g/本×10⁻⁶)、また、その他、拠点回収への排出量は、155 トン(518 トン×0.3)、店頭回収への排出量は、207 トン(518 トン×0.4)、合計 890 トンと推定された。また、家庭内ストック量は 259 トン(518 トン×0.5)と推定された。

1 0) 水銀体温計

水銀体温計については、有害・危険物調査結果から、家庭ごみに混入した水銀体温計の単位重量を 5g/本、排出本数を 0.2 本/トンと設定した¹⁰⁾。一方、市民アンケート調査結果によると、水銀体温計の排出先は、家庭ごみ：1 に対し、資源ごみ：0.13、拠点回収：0.16、店頭回収：0.27、家庭内ストック：0.40 であった。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの混入量は、0.3 トン(262,660 トン×0.2 本/トン×5g/本×10⁻⁶)、資源ごみへの排出量は、0.0 トン(0.26 トン×0.13)、拠点回収への排出量は、0.0 トン(0.26 トン×0.16)、店頭回収への排出量は、0.1 トン(0.26 トン×0.27)、合計 0.40 トンと推定された。また、家庭内ストック量は 0.1 トン(0.26 トン×0.40)と推定された。

1 1) 使い捨てライター

使い捨てライターについては、使い切ったライターの実測値から、使い捨てライターの単位重量：15g/本と設定した。また、有害・危険物調査結果から、家庭ごみへの排出本数：11.0 本/トン、資源ごみへの排出本数：1.9 本/トン、小型金属類への排出本数：2.0 本/トン、ガラクタ類への排出本数：22.9 本/トンと設定した¹⁰⁾。一方、市民アンケート調査結果によると、家庭からの排出先は、家庭ごみ：1 に対し、拠点回収：0.02、店頭回収：0.04、家庭内ストック：0.13 であった。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの混入量は、43 トン(262,660 トン×11.0 本/トン×15g/本×10⁻⁶)、資源ごみへの混入量は、0.5 トン(16,169 トン×1.9 本/トン×15g/本×10⁻⁶)、小型金属類への混入量は、0.006 トン(193 トン×2.0 本/トン×15g/本×10⁻⁶)、ガラクタ類への混入量は 2.2 トン(6,296 トン×22.9 本/トン×15g/本×10⁻⁶)となる。また、その他、拠点回収への排出量は、0.9 トン(43 トン×0.02)、店頭回収への排出量は、1.7 トン(43 トン×0.04)、合計 48.3 トンと推定された。また、家庭内ストック量は 5.6 トン(43 トン×0.13)と推定された。

1 2) 医薬品

医薬品については、市民アンケート調査における過去に家庭内で不用となった量の平均値 7.48g に京都市世帯数 653,253 世帯を乗じて、4.9 トンと推定された。同様に、市民アンケート調査結果によると、家庭からの排出先は、家庭ごみ：1 に対し、資源ごみ：0.04、拠点回収：0.02、店頭回収：0.05、家庭内ストック：0.08 であった。以上から、平成 18 年度の家庭ごみへの排出量は、4.1 トン(4.9 トン×1/1.19)、資源ごみへの排出量は、0.2 トン(4.9 トン×0.04/1.19)、拠点回収への排出量は、0.1 トン(4.9 トン×0.02/1.19)、店頭回収への排出量は、0.2 トン(4.9 トン×0.05/1.19)、合計 4.6 トンと推定された。また、家庭内ストック量は、0.3 トン(4.9 トン×0.08/1.19)と推定された。

1 3) 注射器・注射針

注射器・注射針については、有害・危険物調査結果から、在宅医療器具として、家庭ごみに混入分の単

位重量：36g/本、排出本数：0.2本/トンとした¹⁰⁾。また、資源ごみへの混入分を排出本数：0.5本/トンとした。一方、市民アンケート調査結果によると、在宅医療器具の排出は、家庭ごみ：1に対し、拠点回収：0.4、店頭回収：1.9、家庭内ストック：0.7であった。以上から、平成18年度の家庭ごみへの混入量は、8.5トン(262,660トン×0.9本/トン×36g/本×10⁻⁶)、資源ごみへの混入量は、0.3トン(16,169トン×0.5本/トン×36g/本×10⁻⁶)、また、その他、拠点回収への排出量は、3.4トン(8.5トン×0.4)、店頭回収への排出量は、16.2トン(8.5トン×1.9)、合計28.4トンと推定された。また、家庭内ストック量は6.0トン(8.5トン×0.7)と推定された。

1.4) 自動車バッテリー

自動車バッテリーについては、中環審報告から使用済みバッテリー処理工程のバッテリー重量13kg/個を採用した¹¹⁾。また、同報告書P.33の自動車(四輪車)用バッテリーの流通量合計2,200万個と二輪車用バッテリーの流通量合計2,818千個を合算し、全国における自動車バッテリーの流通量2,482万個とした。これに全国と京都市の人口比を乗じて、京都市における自動車バッテリー流通量とすると287千個(2,482万個×1,475千人/127,770千人×10)となる。一方、平井らによる使用済み自動車用鉛バッテリーのフロー推定から¹²⁾、販売店舗種類別のバッテリー交換・返却状況における返却率合計85%を店頭回収による回収率であると仮定し、また、自動車用バッテリーの静脈フローの推定結果から、自治体・ごみ処理業への移行量127万個に全国と京都市の人口比を乗じて、京都市における自動車バッテリーの家庭ごみ混入量と仮定すると、14.7千個(127万個×1,475千人/127,770千人×10)となる。以上から、平成18年度の家庭ごみへの混入量は191t(14.7千個×13kg/個)、店頭回収等として回収される量は3,171t(287千個×13kg/個×0.85)となる。家庭内ストック量は、京都市における流通量3,731tから家庭ごみ混入量191t及び店頭回収量3,171tを差し引き、369tと推計した。

京都市における家庭系有害廃棄物(HHW)品目別フロー計算結果(家庭系のみ、および家庭系+事業系)を表6-7に示す。フロー計算は、基本的には各品目の全国的なフローを把握し、人口比率から本市における消費量を推計し、実績値や回収事業者、リサイクル事業者、品目ごとの業界団体へのヒアリングから、リサイクル回収量を推計したものである。これに抛り難い品目については、本市のみのマスフロー推定に限り、市民アンケート調査結果、ごみ細組成調査結果等を用いた。現状では、有害物や危険物については搬入禁止物として、市民に対して具体的な品目の例示と処理方法に関する広報が行われていることが多い。しかし、網羅的にみても少数の品目に限られ、新たに上市された商品に対する検証メカニズムに乏しく、かつ、処理方法についても明示的ではないといえる。つまり、一般廃棄物管理主体である行政の立場からは、多様な商品や新たな商品に対する専門的知見や取り扱い方法等の情報が得にくい状況であり、個々の商品に対する具体的な処理方法について把握しにくいことが推測される。市民アンケート調査結果から、家庭内での有害・危険廃棄物の扱いを見てみると、乾電池、ボタン型電池・ニカド電池・小型充電式電池、医薬品、溶剤・塗料・絵の具、使用済みライターでは、20-40%前後の人が家庭ごみに混入させており、農薬・水銀温度計においても、3-6%の人が家庭ごみに混ぜている。また、電池類では、家庭内保管も10%前後ある。つまり、有害・危険廃棄物に関しては、必ずしも、行政指導に基づく適正管理が行われていないものと考えられる。これら有害危険物の適正処理・適正リサイクルを確保していくためには、原則的には、拠点による回収チャンネルが整備され、これによる回収割合を向上させることが重要であるとの認識から、家庭系ごみ混入率を低減させる施策が求められることとなる。

表 6-7 京都市における品目ごとのマスフロー推計結果

品目	定義 単位	市内販売量		ストック	家庭系排出量			リサイクル		家庭ごみ		資源ごみ		家庭系		コミュニティ回収		集団回収・店頭回収等	
		A	B		C	全回収量	原単位	回収率	収集量	収集率	回収量	比率	回収量	比率	回収量	比率	回収量	比率	回収量
		(t)	(t)	(t)	D+H+M+O (t)	E (kg/人・年)	F/D×100 (%)	G (t)	H/G×100 (%)	I (t)	J/D×100 (%)	K (t)	L/D×100 (%)	M (t)	N/D×100 (%)	O (t)	P/D×100 (%)	Q (t)	R/D×100 (%)
紙パック		2,207	—	2,207	384	0.26	17.4	1,823	82.6	—	—	100	26.0	2	0.5	282	73.4	—	—
乾電池		674	82	592	64	0.04	10.8	※1 481	81.3	—	—	53	82.8	—	—	※2 11	17.2	—	—
リターナブルびん		9,318	α	9,318	6,743	4.57	72.4	※1 2,575	27.6	—	—	58	0.9	—	—	6,685	99.1	—	—
ワンウェイびん		12,634	—	12,634	5,236	3.55	41.4	2,338	18.5	5,087	97.2	139	2.7	10	0.2	—	—	—	—
蛍光灯		482	25	457	69	0.05	15.1	※1 388	84.9	—	—	16.5	23.9	—	—	53	76.1	—	—
てんぷら油		5,790	※4	2,316	134	0.09	5.8	2,182	94.2	—	—	※3 134	100.0	0	0.0	0	0.0	—	—
古紙(新聞・雑誌・段ボール)		87,873	—	87,873	50,298	34.10	57.2	37,576	42.8	—	—	—	—	8,334	16.6	41,964	83.4	—	—
古布※6		27,163	6,829	20,334	3,659	2.48	18.0	16,675	82.0	—	—	—	—	450	12.3	3,209	87.7	—	—
発泡トレイ		600	—	600	270	0.18	45.0	330	55.0	133	49.3	—	—	—	—	137	50.7	—	—
卵パック		319	—	319	141	0.10	44.2	178	55.8	91	64.5	—	—	—	—	50	35.5	—	—
二次電池		72	—	72	2.9	0.00	4.0	※1 69	96.0	—	—	—	—	—	—	2.9	100.0	—	—
刃物		—	1.4	10.4	0.2	0.00	2.3	6.8	65.9	3.3	※6	—	—	—	—	0.2	100.0	—	—
陶磁器		—	—	68	0	0.00	0.0	68	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CD/DVD		—	—	15.2	0	0.00	0.0	15.2	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
剪定枝		—	—	8,142	0	0.00	0.0	8,142	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
製品プラ		—	—	5,421	0	0.00	0.0	5,346	98.6	75	※6	—	—	—	—	—	—	—	—
電源コード		—	—	82.5	0	0.00	0.0	82.5	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
単葉・煎茶・烏冬	47g/本	—	1.2	4.9	1.0	0.00	20.4	2.5	59.9	51.0	0.7	※6	0.7	—	—	1.0	100.0	—	—
溶剤・塗料・絵の具等※8	※：142g/本、資：92g/本	—	77	406	22	0.01	5.4	366	99.9	90.2	3.4	※6	14.6	—	—	22	100.0	—	—
家庭用化学薬品(殺虫剤、漂白剤等)※9	※：59g/本、資：90g/本	—	259	890	207	0.14	23.3	518	58.2	10	※6※12	155	—	—	207	100.0	—	—	
アスベスト含有製品		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水銀体温計	5g/本	—	0.1	0.4	0.1	0.00	25.0	0.3	59.9	75.0	0.0	※6	0.0	—	—	0.1	100.0	—	—
使い捨てライター	15g/本	—	5.6	48	1.7	0.00	3.5	※4 45	93.6	0.5	※6※12	0.9	—	—	—	1.7	100.0	—	—
自動車用バッテリー※10	13kg/本※10	—	369	3,362	3,171	2.15	94.3	191	15.9	5.7	—	—	—	—	3,171	100.0	—	—	
医薬品		—	0.3	4.6	0.2	0.00	4.3	4.1	89.1	0.2	※6	0.1	—	—	0.2	100.0	—	—	
注射器・注射針	36g/本	—	6.0	28	16	0.01	57.0	8.5	29.9	0.3	※6	3.4	—	—	16.2	100.0	—	—	
小型電子機器	670g/本	—	—	4,568	0	0.00	0.0	4,500	107.9	98.5	68	※6※12	—	—	—	—	—	—	

※1 資源ごみ等の市による定期収集に混入するものについても、家庭ごみに含めた。なお、リターナブルびんにおける「リサイクル」とは「洗って繰り返し利用する(リユース)」を意味し、カレットになってびんの原料等にリサイクルされるものは含まれていない。
 ※2 店頭回収量のうちリサイクルされる量(推定値)を計上した。このほかに47[t]が産廃処理されていると考えられる。
 ※3 このほか拠点回収において事業系が9.5[t]回収されていると仮定した。
 ※4 家庭において3,474[t](販売量の60%)が消費される。
 ※5 市内販売量は、家庭系排出量と事業系排出量の比率により按分した。リユース、リペアもリサイクルに含めた。
 ※6 「プラスチック製容器包装類」や「缶・びん・ペットボトル」、「小型金属」に混入して排出されたもので、ここでは「リサイクル」にカウントしていない。
 ※7 有害・危険廃棄物については、家庭系排出量及び単位重量は家庭系有害・危険廃棄物対策検討調査報告書及び市民アンケートの排出状況から推計した。なお、「缶・びん・ペットボトル」や「拠点回収」等に混入して排出されたものも全て「家庭ごみ」に含めた。
 ※8 単位重量については、ストック、家庭ごみ、拠点回収、集団回収・店頭回収等に排出されるものを142g/本、資源ごみに排出されるものを92g/本とした。
 ※9 単位重量については、ストック、家庭ごみ、拠点回収、集団回収・店頭回収等に排出されるものを59g/本、資源ごみに排出されるものを90g/本とした。
 ※10 排出量及び単位重量は、産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会(自動車用鉛蓄電池リサイクル専門委員会、H17.5.11)資料より推定した。また、店頭回収量は、使用済み自動車用鉛バッテリーのフロー推定(2006年、平井ら)から平均回収率85%として計算した。
 さらに自治体等への廃棄量は1,270,000個(13kg/個)とした。
 ※11 ガラクタ類への混入量を含む。
 ※12 小型金属類への混入量を含む。

京都市人口(H17国勢調査)：1,475千人
 京都市世帯数(H17国勢調査)：653,253

これは、リサイクルされていることを意味しない

品目	定義 単位	市内販売量		ストック	市内排出量			リサイクル		家庭ごみ		資源ごみ		家庭系		コミュニティ回収		集団回収・店頭回収等		事業系	
		A	B		C	全回収量	原単位	回収率	収集量	収集率	回収量	比率	回収量	比率	回収量	比率	回収量	比率	回収量	比率	回収量
		(t)	(t)	(t)	D+H+M+O (t)	E (kg/人・年)	F/D×100 (%)	G (t)	H/G×100 (%)	I (t)	J/D×100 (%)	K (t)	L/D×100 (%)	M (t)	N/D×100 (%)	O (t)	P/D×100 (%)	Q (t)	R/D×100 (%)	S (t)	T/S×100 (%)
紙パック		2,503	—	2,503	488	0.33	19.5	1,823	72.8	—	—	100	20.5	2	0.4	282	57.8	192	77	104	21.3
乾電池		749	82	667	94	0.06	14.1	※1 481	72.1	—	—	53	56.4	—	—	※2 11	11.7	45	6.7	30	31.9
リターナブルびん		18,240	α	18,240	14,592	9.89	80.0	※1 2,575	14.1	—	—	58	0.4	—	—	6,685	45.8	1,074	5.9	7,849	53.8
ワンウェイびん		17,432	—	17,432	7,660	5.19	43.9	2,338	13.4	5,060	66.1	139	1.8	10	0.1	—	—	2,374	13.6	2,424	31.6
蛍光灯		760	25	736	163	0.11	22.1	※1 388	52.7	—	—	16.5	10.1	—	—	53	32.2	185	25.1	94	57.7
てんぷら油		12,465	※4	4,986	1,487	1.01	29.8	2,182	43.8	—	—	※3 134	90.0	0	0.0	0	0.0	1,317	26.4	1,353	91.0
古紙(新聞・雑誌・段ボール)※5		87,873	—	87,873	50,298	34.10	57.2	37,576	42.8	—	—	—	—	8,334	16.6	41,964	83.4	—	—	—	—
古布※6		29,207	7,343	21,864	3,659	2.48	16.7	16,675	76.3	—	—	—	—	450	12.3	3,209	87.7	1,530	7.0	—	—
発泡トレイ		672	—	672	270	0.18	40.2	330	49.1	133	49.3	—	—	—	—	137	50.7	72	10.7	—	—
卵パック		341	—	341	141	0.10	41.3	178	52.2	91	64.5	—	—	—	—	50	35.5	22	6.5	—	—
二次電池※7		88	—	88	2.9	0.00	3.3	※1 69	78.5	—	—	—	—	—	—	2.9	100.0	16	18.2	—	—
刃物※5		—	1.4	10.4	0.2	0.00	2.3	6.8	65.9	3.3	※8	—	—	—	—	0.2	100.0	—	—	—	—
陶磁器※5		—	—	68	0	0.00	0.0	68	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
CD/DVD※5		—	—	15.2	0	0.00	0.0	15.2	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
剪定枝※5		—	—	8,142	0	0.00	0.0	8,142	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
製品プラ※5		—	—	5,421	0	0.00	0.0	5,346	98.6	75	※8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
電源コード※5		—	—	82.5	0	0.00	0.0	82.5	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
単葉・煎茶・烏冬	47g/本	—	1.2	4.9	1.0	0.00	20.4	2.5	59.9	51.0	0.7	※8	0.7	—	—	1.0	100.0	—	—	—	—
溶剤・塗料・絵の具等※8	※：142g/本、資：92g/本	—	77	406	22	0.01	5.4	366	129.9	90.2	3.4	※8	14.6	—	—	22	100.0	—	—	—	—
家庭用化学薬品(殺虫剤、漂白剤等)※9	※：59g/本、資：90g/本	—	259	890	207	0.14	23.3	518	58.2	10	※6※14	155	—	—	207	100.0	—	—	—	—	—
アスベスト含有製品		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水銀体温計	5g/本	—	0.1	0.4	0.1	0.00	25.0	0.3	59.9	75.0	0.0	※8	0.0	—	—	0.1	100.0	—	—	—	—
使い捨てライター	15g/本	—	5.6	48	1.7	0.00	3.5	※4 45	93.6	0.5	※8※14	0.9	—	—	—	1.7	100.0	—	—	—	—
自動車用バッテリー※10	13kg/本※10	—	369	3,362	3,171	2.15	94.3	191	15.9	5.7	—	—	—	—	—	3,171	100.0	—	—	—	—
医薬品		—	0.3	4.6	0.2	0.00	4.3	4.1	89.1	0.2	※8	0.1	—	—	0.2	100.0	—	—	—	—	—
注射器・注射針	36g/本	—	6.0	28	16	0.01	57.0	8.5	29.9	0.3	※8	3.4	—	—	16	100.0	—	—	—	—	—
小型電子機器	670g/本	—	—	4,568	0	0.00	0.0	4,500	107.9	98.5	68	※8※14	—	—	—	—	—	—	—	—	—

※1 資源ごみ等の市による定期収集に混入するものについても、家庭ごみに含めた。なお、リターナブルびんにおける「リサイクル」とは「洗って繰り返し利用する(リユース)」を意味し、カレットになってびんの原料等にリサイクルされるものは含まれていない。
 ※2 店頭回収量のうちリサイクルされる量(推定値)を計上した。このほかに47[t]が産廃処理されていると考えられる。
 ※3 このほか拠点回収において事業系が9.5[t]回収されていると仮定した。
 ※4 家庭及び事業所において7,479[t](販売量の60%)が消費される。
 ※5 家庭系のみを対象とした。
 ※6 リユース、リペアもリサイクルに含めた。
 ※7 非常灯や電動工具等の産業用二次電池は含まれていない。
 ※8 「プラスチック製容器包装類」や「缶・びん・ペットボトル」、「小型金属」に混入して排出されたもので、ここでは「リサイクル」にカウントしていない。
 ※9 有害・危険廃棄物については、家庭系排出量及び単位重量は家庭系有害・危険廃棄物対策検討調査報告書及び市民アンケートの排出状況から推計し、家庭系のみを対象とした。なお、「缶

6.3.3 家庭訪問調査の結果

6.3.3.1 調査対象世帯と世帯属性

調査を行った日程と世帯属性を表 6-8 に示す。居住形態は戸建て（持家）が 6 割、マンションが 4 割と戸建ての割合が若干多い結果となった。居住年数は比較的均等に分布し、平均居住年数は 17.1 年となった。居住人数については 4 人家族が多いものの、単身世帯から 5 人家族を対象とできた。平均世帯人数は 3.6 人/世帯となった。床面積は 30 m²～170 m²、平均 108.6 m²であった。世帯主の年齢は 50 代が多くなっており、今回の調査では若い世帯のサンプルが少なくなった。

表 6-8 調査対象世帯と世帯属性

調査世帯	月日	調査場所	居住形態	居住年数(年)	家族数(人)	床面積(m ²)	部屋数	庭	世帯主年齢(代)
A宅	2010年12月1日	京都市	戸建(持家)	13	4	86	4	有	50
B宅	12月5日	京都市	戸建(持家)	15	2	130	4	無	50
C宅	12月9日	京都市	戸建(持家)	30	4	66	4	有	60
D宅	12月10日	西宮市	分譲マンション	12	5	109	6	無	50
E宅	12月12日	神戸市	戸建(持家)	30	2	165	5	有	70
F宅	12月26日	大阪市	戸建(持家)	18	6	170	7	無	50
G宅		大津市	賃貸マンション	2	3	30	2	無	30
H宅	12月27日	宇治市	戸建(持家)	7	4	140	5	無	50
I宅		奈良市	賃貸マンション	14	4	100	4	無	40
J宅	12月31日	西宮市	戸建(持家)	40	1	120	4	有	70
K宅	2011年1月6日	堺市	分譲マンション	23	4	81	4	無	50
L宅	1月7日	西宮市	戸建(持家)	6	4	130	5	無	50
M宅		西宮市	戸建(持家)	11	5	142	8	有	40
N宅		西宮市	分譲マンション	8	3	80	4	無	60
O宅	1月12日	奈良市	分譲マンション	28	3	80	4	無	60

6.3.3.2 保有数量とその中の退蔵数量

(1) 各世帯における保有量の実態

◆世帯別保有量の集計（製品）

世帯別の家庭系有害廃棄物の保有点数、保有重量（容器込）を図 6-6 に示した。保有点数の最小値は G 宅 79 個、最大値は A 宅の 229 個であり、平均が 143.8 個となった。世帯によって保有点数に違いがみられ、大きく分けると保有点数が 100 点以内の世帯、100～150 点以内の世帯、200 点付近の世帯に分けることができた。保有重量（容器込）でも、傾向は保有点数とほぼ同様であった。最小値は G 宅 7.6kg、最大値は F 宅の 25.3kg であり、平均は 15.5kg となった。

A 宅は電池の保有点数が多かったが、電池 1 個の重量は軽いため、保有重量が他の世帯よりも少なくなる結果となった。また、J 宅、L 宅は保有点数ベースの結果に比べて、保有重量が多かった。J 宅は塗料と殺虫剤が、L 宅は塗料と洗剤の 1 点当たりの重量が重いことが影響していると考えられる。

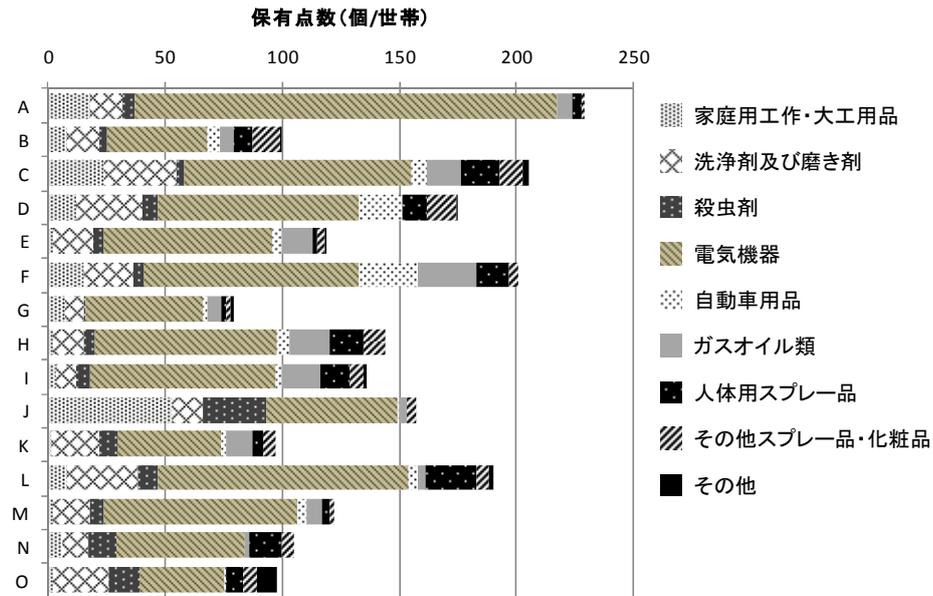


図 6-7.1 各世帯の製品保有点数 (合計 : 2,157 点)

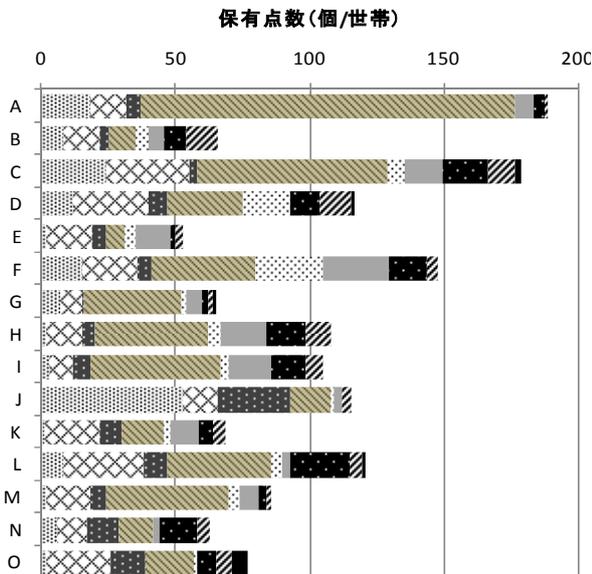


図 6-7.2 各世帯の重量測定製品の保有点数 (合計 1,562 点)

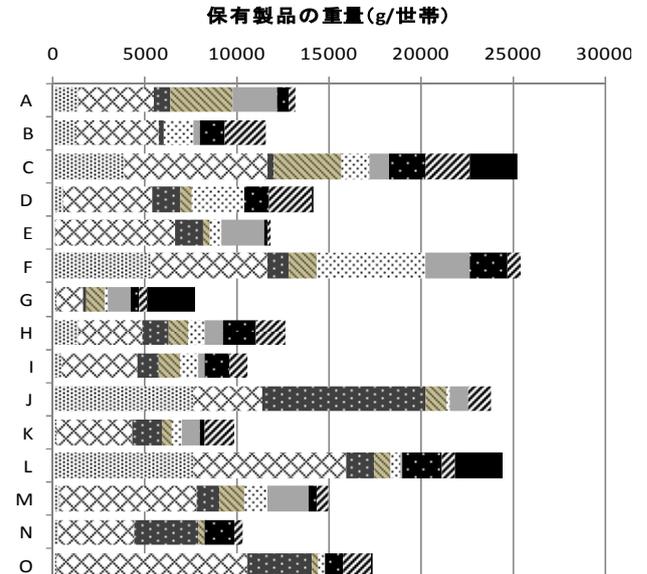


図 6-7.3 各世帯の保有重量 (容器込) (合計 1,562 点)

◆世帯別保有状態

続いて、世帯別の製品の保有状態別の集計を行った(図 6-8.1)。保有状態は「買い置き」「使用中」「退蔵予備群(失念)」「退蔵」「その他」「わからない」に分類した。「その他」は近々排出予定のある製品、「わからない」は保有者(使用者)が調査時に不在で、保有状態を確認することができなかった製品を指す。全体の傾向として、どの世帯にも退蔵品の存在が確認された。

次に、退蔵予備群及び退蔵品のみを抽出して集計を行った結果を図 6-8.2~6-8.3 に示す。世帯によって退

蔵品の保有点数及び保有重量ともかなり違いが確認され、保有点数の最小値はG宅の7点、最大値はA宅の112点、平均は44.9個という結果になった。前述のとおり、A宅では退蔵品の電池が94個を占めていたため、重量では値が他の世帯に比べて小さくなった。保有重量の最小値はE宅の0.5kg、最大値はJ宅の18.4kg、平均は5.2kgとなった。なお、使用中製品量と退蔵量の関係性についても調査したが、相関関係は見られず、対象世帯数を増やした上での検討が今後必要と考えられる。

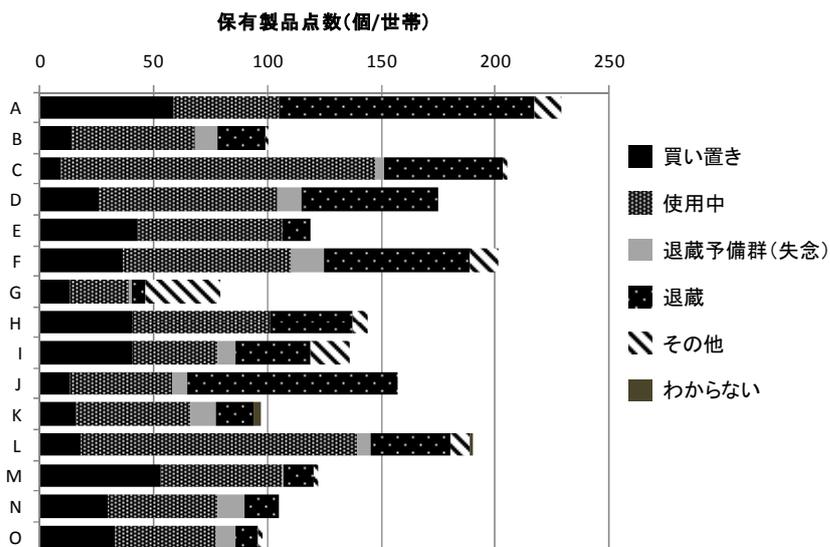


図 6-8.1 各世帯の製品保有点数と保有状態 (合計 2,157 点)

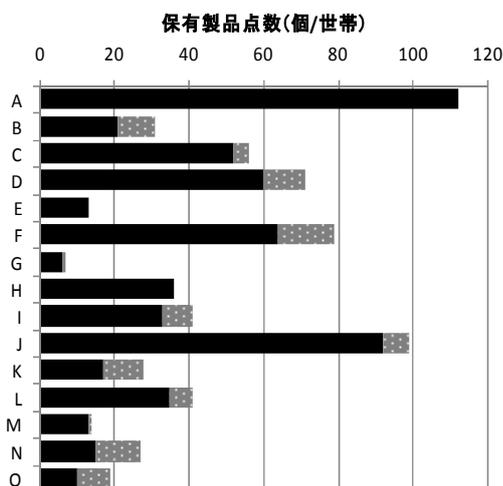


図 6-8.2 各世帯の退蔵、退蔵予備群の保有点数 (合計 674 点)

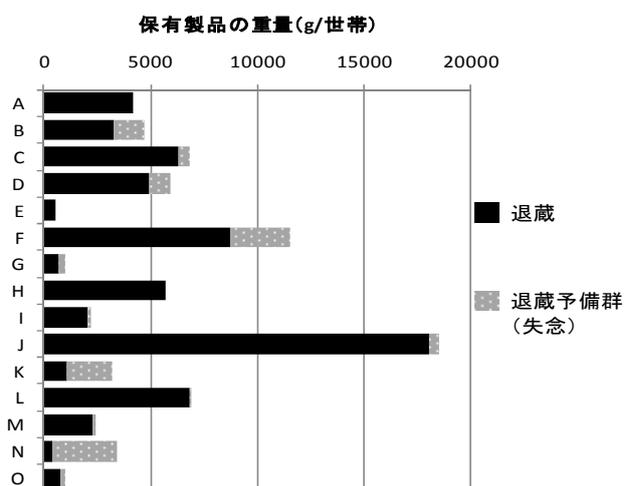


図 6-8.3 各世帯の退蔵、退蔵予備群の保有重量 (容器込) (合計 291 点)

(2) 各製品における保有量の実態

◆各製品の保有状態

保有量は点数で見ると電池が525点と最も多いが、重量で見ると洗浄剤が75.7kgと最も多くなった。また、近年普及しはじめたLEDは7点確認された。保有点数のうち、使用中の割合が高い製品は、蛍光管、電球、LED等の照明類であった。一方、退蔵中及び退蔵予備群の保有点数割合が高い製品は塗料・溶剤、ボタン電池、使い捨てライター、水銀式体温計であった。塗料は点数ベースで全体の75%である50個が退蔵されており、重量ベースでは80%を占めていた。ボタン電池は点数ベースで全体の50%である6個が退蔵されており、重量ベースでは34%を占めていた。使い捨てライターは全体の52%である35個が退蔵されており、重量では61%を占めていた。水銀式体温計は全体の75%である6個が退蔵されており、重量でも同様の75%を占めていた。小型家電については、今回退蔵品のみをカウントしているため、退蔵品及び退蔵予備群の割合が100%となっている。全体の傾向として、普及し始めたばかりのLEDを除く全ての製品で退蔵品または退蔵予備群が確認された。

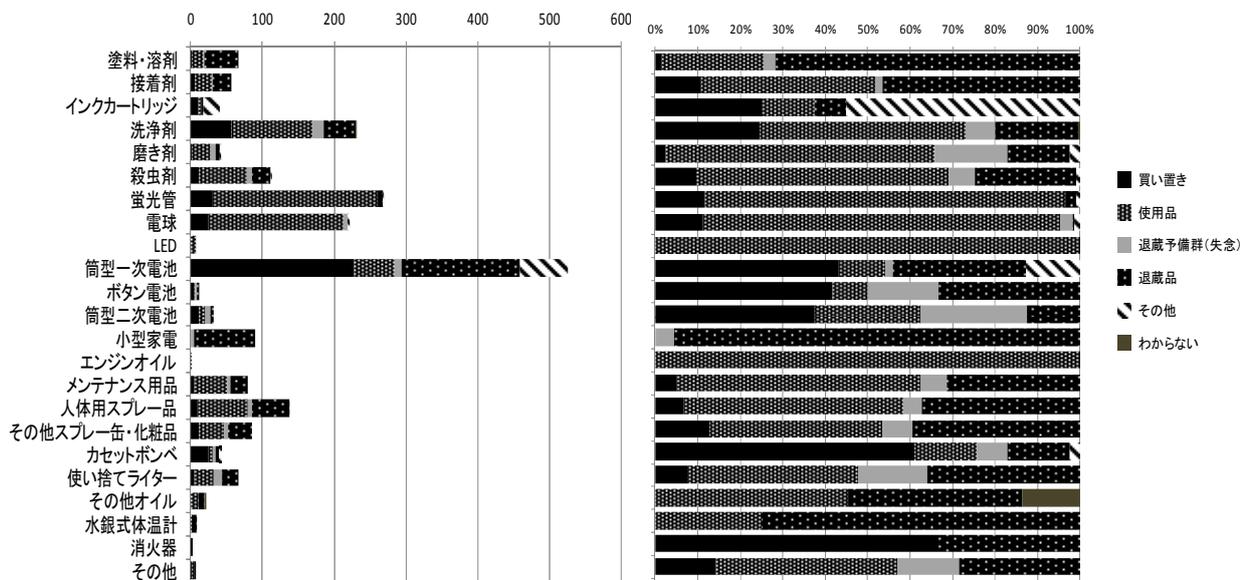


図 6-9.1 【左】各製品の保有点数、【右】割合（合計 2,157 点）

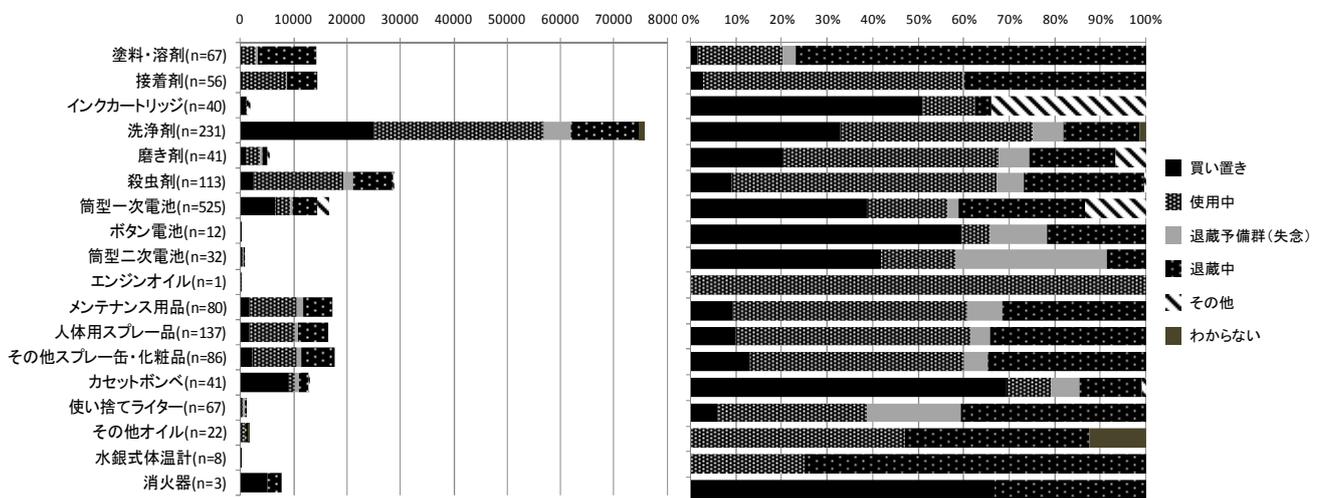


図 6-9.2 【左】各製品の保有重量、【右】割合（合計 1,562 点）

◆残存量・残存率

製品の残存量（中身）の集計結果を図 6-10 に示した。なお、内容量が ml 表示のものは、比重を 1 と仮定して、g に換算した。最も残存量が多かった製品は洗浄剤であり、全世界合わせて 63.3kg が残存していた。次に多かった製品は殺虫剤で、22.1kg であった。保有状態別に集計を行った結果を図 6-10.1 に示す。

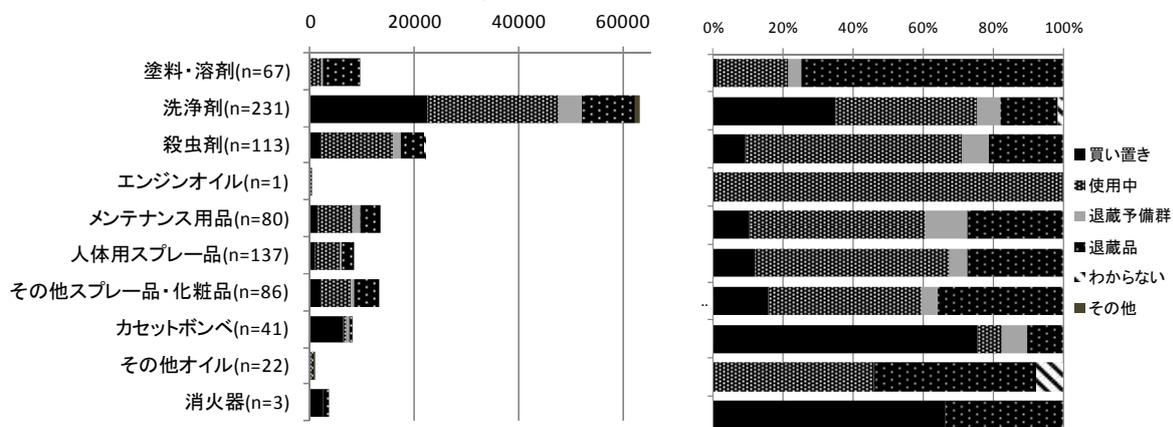


図 6-10.1 【左】各製品の保有残存量、【右】割合

製品によって保有されているもののうち、退蔵または退蔵予備群の割合が多い製品が確認できる。特にこれらの割合が高い製品は塗料（78%）、その他オイル類（46%）であった。

このうち退蔵品のみの残存量及び残存率を集計した。算出方法を図 6-10.2 に示す。

$$\text{残存量 (g)} = \{\text{製品の内容量 (中身量)}\} \times \text{残存割合}$$

$$\text{残存率 (\%)} = \text{全退蔵品の残存量 (g)} \div \text{全退蔵品の内容量 (g)}$$

退蔵残存量が最も多かったものは洗淨剤の 10.2kg、最少はその他オイル類の 0.3kg となり、全世帯全製品合計で 35kg が退蔵されていた。残存率をみると、塗料、カセットボンベについては残存率が 6 割を超えており、ほとんど使用されずに退蔵されていることが明らかとなった。また、消火器の退蔵品は 1 点しか見つからなかったが、これも未使用のまま退蔵されている。

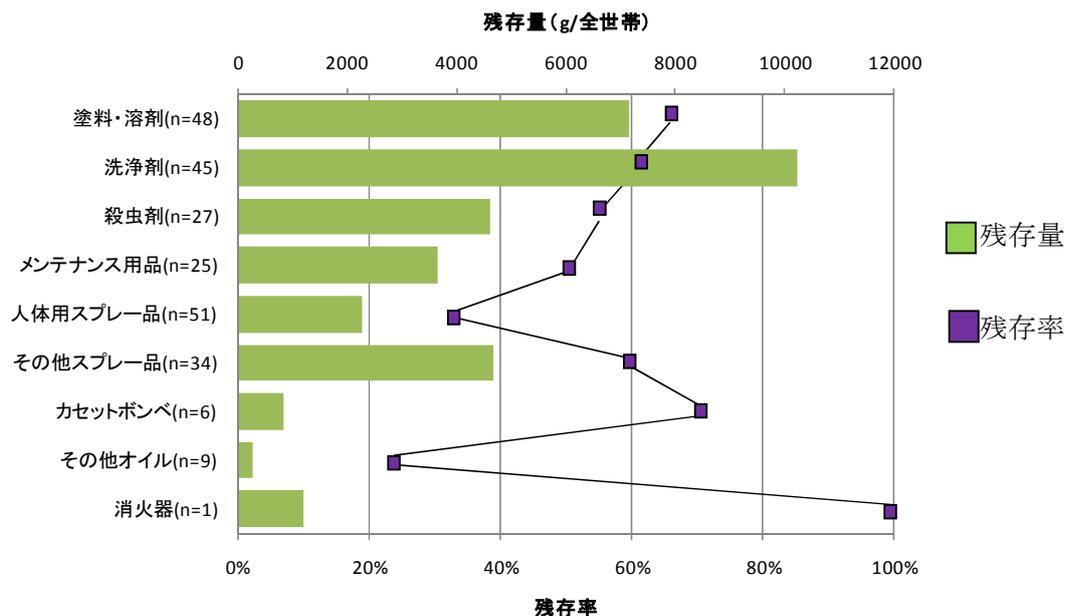


図 6-10.2 退蔵品の残存量と残存率

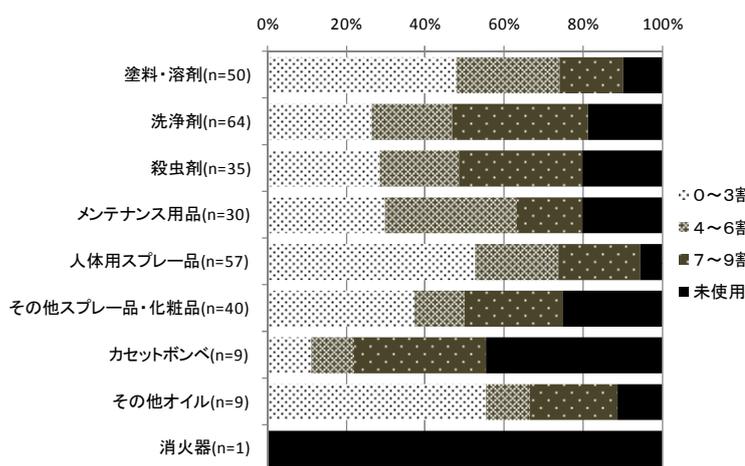


図 6-10.3 退蔵品と退蔵予備群の残存割合

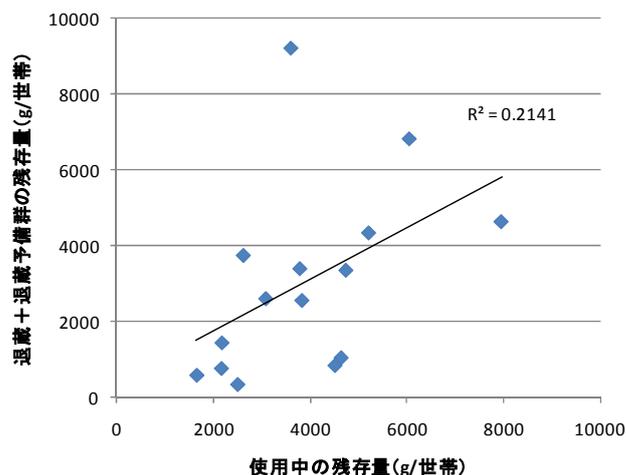


図 6-10.4 使用中と「退蔵+予備群製品」の関係

ここで使用中製品の残存量と退蔵製品の残存量との関係を見るために、横軸に世帯あたりの使用中製品の残存量合計を、縦軸に世帯あたりの退蔵品と退蔵予備品の残存量合計をとった図 6-10.4 を示した。使用中の残存量が多い世帯ほど、退蔵量が若干少ない傾向が確認された。言い換えれば、使用中の残存量が少ない世帯では退蔵量が多く、前述したような未使用のまま退蔵される製品が確認された結果とも整合する。

◆退蔵理由

各退蔵品について、なぜ退蔵に至ったのか理由を尋ね、製品ごとに集計を行った（図 6-11）。

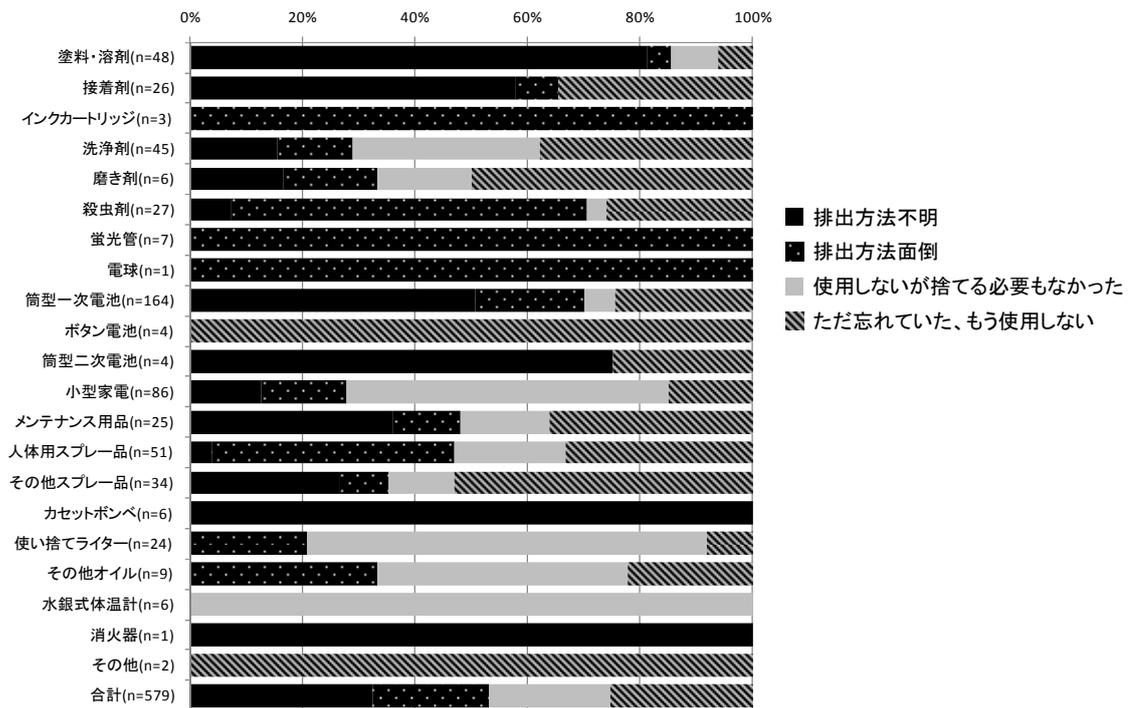


図 6-11.1 退蔵に至った理由

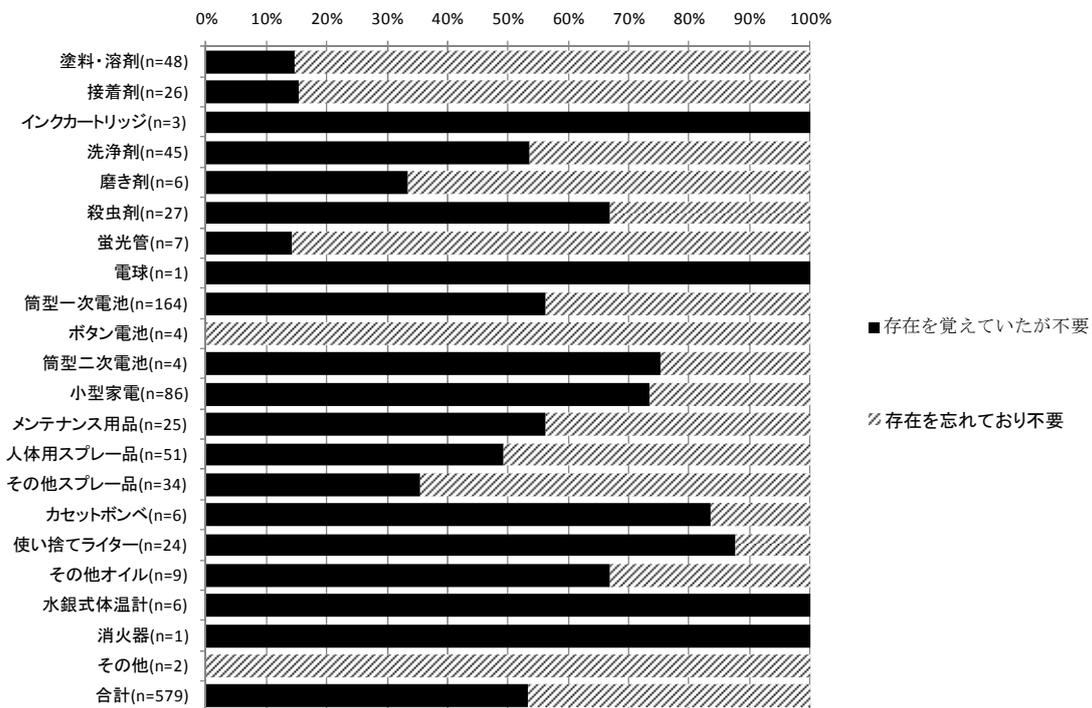


図 6-11.2 存在を覚えていた退蔵品の割合

5点以上の退蔵品が見つかったもののうち、「排出方法がわからない」という理由で退蔵に至った割合が高い製品はカセットボンベ（100%）、塗料・溶剤（81%）、接着剤（58%）であった。本結果からも排出方法の周知が重要であることが示唆される。一方、「排出方法が面倒」で退蔵に至った割合が高い製品は蛍光管（100%）、殺虫剤（63%）、人体用スプレー品（43%）であった。全体で見ても「排出方法が不明、面倒」という理由が半数を占める結果となった。これに加え、その他スプレー缶・化粧品、磨き剤の

ようにただ存在を忘れていて、もう使用しないと答える製品もあった。前述のとおり、使用頻度が少ないため、存在を忘れられてしまって退蔵に至る経緯が伺える。

次に、これらの退蔵品の存在を覚えていたかどうか尋ねた（図 6-11.2）。その結果、ほとんどの製品で存在を忘れて退蔵していた製品の存在を確認できた。特に、塗料、接着剤、蛍光管、ボタン電池で忘れられていた製品が多かった。

◆使い切らなかった理由

中身のある退蔵品について、使い切らずに退蔵に至った理由を尋ねた（図 6-12）。

使い切れず退蔵に至った製品は人体用スプレー品が最も多かった。次いで塗料・溶剤が多くなっている。製品に関係なく、ほぼ全ての製品に当てはまった製品は「少量でよかった」「もう必要でなくなった」という意見であった。全体としてもこれらの意見が半分以上を占めている。このような理由が挙げられたのは、製造者が製品の適量販売を行っていないことが1つの原因であると考えられる。

洗浄剤、磨き剤、その他スプレー用品は「思っていた機能でなかった」という理由が目立つ。調査を行う中で、これらは様々な種類が確認された。例えば、その他スプレー用品では「結露防止スプレー」「シール剥がし剤」「静電気防止剤」などが見つかった。種類が多いだけに効果のなかった製品も多く、少量使用しただけで不要となる場合が確認された。これらの製品に関しては、残存量も多く退蔵されていた。また、カセットボンベや消火器のような備え用の製品については「製品が使用できない状態になった」という理由が挙げられており、長期保管するうちに使用できない状態になってしまった、または使用期限が過ぎてしまった例を実際に確認した。

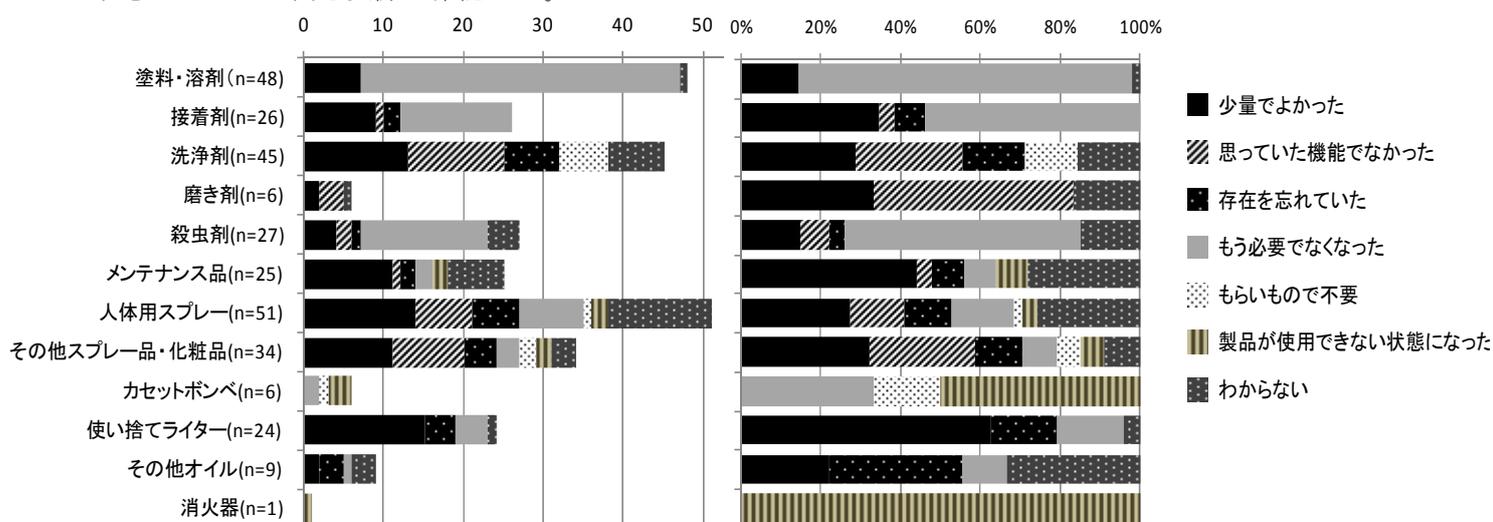


図 6-12 【左】使い切らなかった理由（個数）、【右】割合

◆退蔵品の保有意思

調査で確認された退蔵品をどのように片付けるか尋ねた（図 6-13.1）。インクカートリッジ、ボタン電池以外の全ての製品で、もう使用しないにも関わらず、今後も保管し続けると答えた製品がみられる。5点以上見つかった製品のうち、特に保管される割合が高かったものは、その他オイル、メンテナンス用品、洗浄剤であった。続いて、今後も保管すると答えた製品について、その理由を尋ねた（図 6-13.2）。全製品の合計を見ると、“排出方法が不明または面倒”という理由が全体の7割を占めている。5点以上見つかった製品のうち、特に排出方法が不明と答えた製品は塗料、接着剤、洗浄剤、一次電池が多かった。殺虫剤、人体用スプレー品、その他オイルでその割合が高くなっている。このように目の前に不要な製品があるにも関わらず、上記の理由によって再び保管されてしまう実態が明らかとなった。

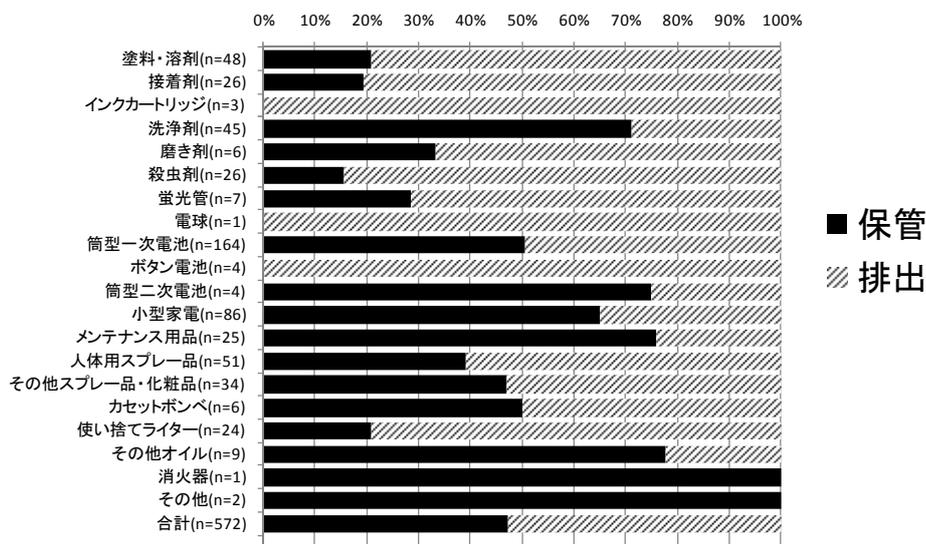


図 6-13.1 退蔵品の今後の保有意志

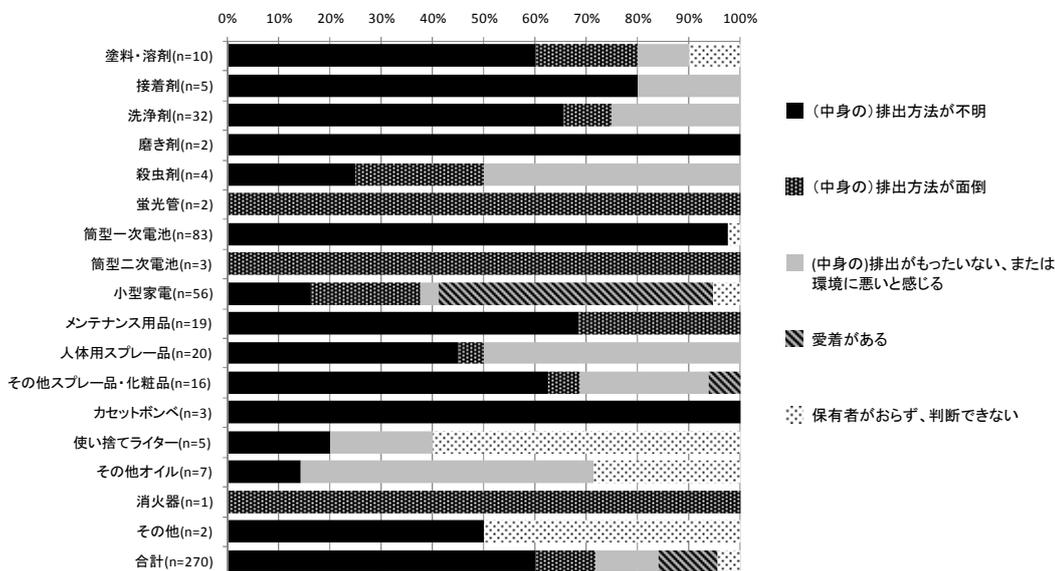


図 6-13.2 退蔵品を再び保管する理由

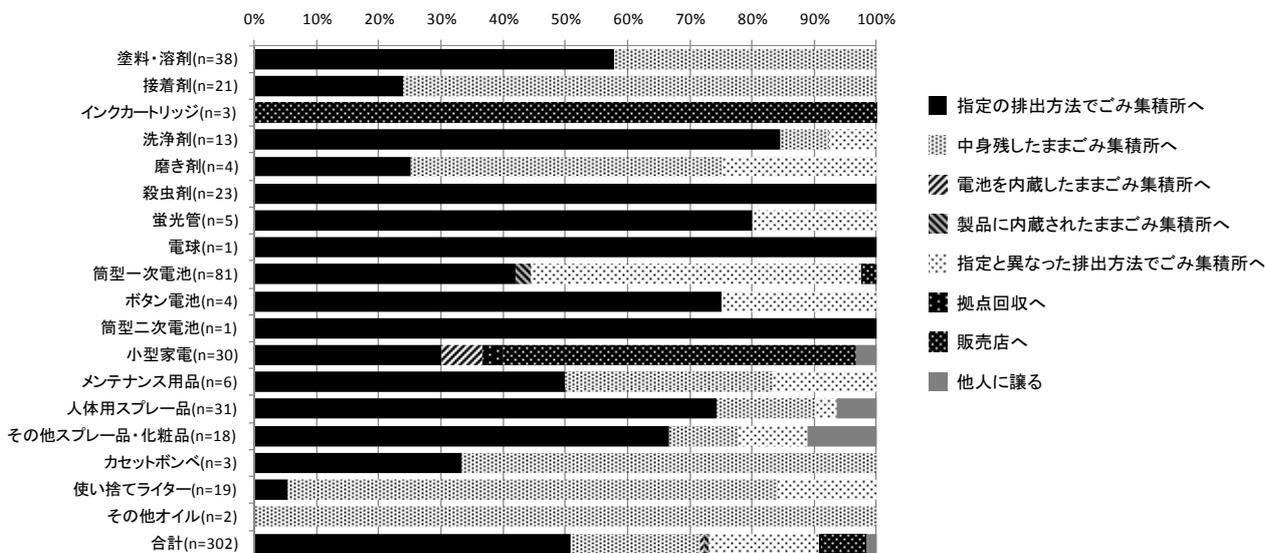


図 6-14 排出すると答えた製品の排出方法

◆排出する製品の排出方法

排出する製品の排出方法を質問した結果を図 6-14 に示した。使い捨てライター及びその他オイルは 90% 以上が、中身を残したままごみ集積所に排出される結果となった。また、カセットボンベも 60% 以上が中身を残したまま排出され、これらオイル類は中身を残したまま排出されやすい傾向にあることがわかり、ごみ集積所、パッカー車、処理施設内での引火及び爆発が懸念される。小型家電では拠点回収及び店頭回収を利用する割合が半分を占めているが、これは主に携帯電話によるものであった。全体としては約 50% の製品が指定通りの排出方法で捨てられ、拠点回収や店頭販売を利用する製品も約 10% あることがわかった。しかしながら、全体の 40% は中身を残したまま、または指定と異なった分類でごみ集積所へ排出される結果となった。

(3) 製品のラベル表示

◆ラベル表示の基準

製品のラベル表示を義務付けている法律として家庭用品品質表示法^[25]が挙げられる。本法律は消費者が日常使用する家庭用品を対象に、商品の品質について事業者が表示すべき事項や表示方法を定めており、消費者が商品を購入する際に適切な情報提供を受けることができるように制定されたものである。消費者の保護を図る必要性の強いもののうち、繊維製品、合成樹脂加工品、電気機械器具及び雑貨工業品の 4 部門の政令で指定された商品が対象となっており、雑貨工業品の中に、塗料、洗浄剤、接着剤、磨き剤について表示方法が明記されている（表 6-9）。使用する際にはゴム手袋の装着する旨や直射日光のあたらないところに保管しないなど使用上及び保管上の注意に関する表示は義務付けられているが、廃棄方法の表示については触れられていないことがわかる。

表 6-9 家庭用品品質表示法によって表示が義務付けられている注意事項^[25]

本研究の中分類	製品名	注意事項の書き方	注意事項					
洗浄剤	住宅用又は家具用洗浄剤	次に掲げる事項を製品の品質に応じて適切に表示する。	子供の手の届くところにおかない旨	用途以外に使用しない旨	飲み込んだり目に入った場合は応急処置を行い医師に相談	使用する時ゴム手袋の装着	-	-
	漂白剤	特になし	子供の手の届くところにおかない旨	直射日光の当たるところ、または高温のところに置かない旨	用途以外に使用しない旨	飲み込んだり目に入った場合は応急処置を行い医師に相談	使用する時ゴム手袋の装着	-
磨き剤	磨き剤(ワックス)	危険、事故の応急処置、室内環境面の配慮などの必要事項を製品の品質に応じて適切に表現	有機溶剤を含むようなワックスでは、使用時に火気に注意すること、万が一飲み込んだ場合の処置、密閉した室内で湿布すると危険など	-	-	-	-	-
	家具用磨き剤	次に掲げる事項を製品の品質に応じて適切に表示する。	子供の手の届くところに置かない旨	用途外に使用しない旨	目に入った場合はこすらずに水で十分洗い流すこと	火気のあるところでは使用しない旨	-	-
塗料	塗料	次に掲げる事項を製品の品質に応じて適切に表示。	子供の手の届かないところに保存し、誤飲・誤食をしないよう注意する旨	残った塗料はふたをし、直射日光をさけて保存する旨	残った塗料はふたをし、直射日光や-5℃以下の場所を避けて保存する旨	有機溶剤が含まれているので、使用中は換気をよくすること	火気のあるところでは塗らない旨	塗料を吹き付ける時には人や物にかからないよう注意する旨(エアゾール式のものに限る)

家庭用品品質表示法の他に、国連勧告として 2003 年に採択され、我が国では 2006 年に制定された世界調和システム^[26] (以降、GHS) が挙げられる。ここでは国際的に統一された分類方法と表示方法によって、化学製品の危険有害性を誰でも容易にわかるようにし、化学製品による事故を減らすことを目的としている。考慮されている有害特性とその絵表示を表 6-10 にまとめた。急性毒性だけでなく発がん性を含む慢性毒性や生態毒性も含む概念となっていることがわかる。日本石鹼洗浄工業会では 2011 年から一部製品群 (洗濯用石鹼・洗剤、台所用石鹼・洗剤、住宅・家具用洗剤、漂白剤、柔軟仕上げ剤、洗濯仕上げ剤、酸・アルカリ洗浄剤、クレンザー) で GHS 表示を適用するとしている^[27]。塗料工業会では欧州や国内関連業界の動きに合わせて、会員企業各社の 2011 年 1 月度出荷分より、本要領に基づく GHS 表示を順次導入することとしている^{[28][29]}。GHS はマークの表示だけでなく、廃棄方法についても毒性によって表示することを

求めている。しかしながら、その表示内容は「内容物/容器を（国都道府県市町村の規則に従って）に廃棄すること」「回収/リサイクルに関する情報について製造者/供給者に問い合わせる」^[30]という抽象的な指示に留まっており、具体的な中身の排出方法や対処法についての新しい動きまでは確認できなかった。

表 6-10 GHS で定められている危険有害性項目及びその絵表示^[26]

絵表示(マーク)	絵表示(意味)	危険有害性項目
	爆弾の爆発	火薬類、自己反応性化学品、有機過酸化物
	炎	可燃性/引火性ガス、可燃性/引火性エアゾール、引火性液体、可燃性固体、自己発熱性化学品、水反応可燃性化学品、自己反応性化学品、自然発火性液体、自然発火性固体
	円上の炎	支援性/酸化性ガス類、酸化性液体、酸化性固体
	腐食性	金属腐食性物質、皮膚腐食性/刺激性、眼に対する重篤な損傷/眼刺激性
	ガスボンベ	高圧ガス
	どくろ	急性毒性
	感嘆符	急性毒性、皮膚腐食性/刺激性、眼に対する重篤な損傷/眼刺激性、呼吸器感作性、皮膚感作性、特定標的臓器/全身毒性（単回暴露）
	環境	水生環境急性有害性、水生環境慢性有害性
	健康有害性	呼吸器感作性、生殖細胞変異原性、発がん性、生殖毒性、特定標的臓器/全身毒性（単回暴露）、特定標的臓器/全身毒性（反復暴露）、吸引力呼吸器有害性

◆製品のラベル集計

家庭訪問調査で対象とした製品のうち、特に残存量の多かった塗料、洗浄剤、殺虫剤について製品に記載されている保管方法、使用期限及び廃棄方法の表示を確認し集計を行った。なお、これらの記載内容は容器によって異なる傾向が見られたので、集計をスプレー缶製品とそれ以外の製品に分けた。スプレー缶製品についてはラベル記載事項の確認に加え、近年普及し始めている「残ガス排出機構」の取り付け有無を確認した。ただし訪問調査でカウントしたうち、確認ができなかった製品がいくつかあったため、集計対象とした点数を表 6-11 にまとめた。「その他スプレー缶」は全体数に対し、ラベルを確認できた製品が少なかったが、それ以外の製品については 6 割以上についてラベルの確認ができた。

表 6-11 集計対象とした点数

	スプレー缶		それ以外		トータル	
	ラベル集計対象(全体数)	カバー率	ラベル集計対象(全体数)	カバー率	ラベル集計対象(全体数)	カバー率
塗料	7(26)	27%	37(41)	90%	44(67)	66%
洗浄剤	45(53)	85%	155(178)	87%	200(231)	87%
殺虫剤	72(72)	100%	33(41)	80%	105(113)	93%
人体用スプレー	116(137)	85%	なし	-	116(137)	85%
その他スプレー	49(86)	57%	なし	-	49(86)	57%
合計	289(374)	77%	225(260)	87%	514(634)	81%

◆保管方法の記載について

図 6-15.1 にスプレー缶の保管方法の記載内容を集計した結果を示す。スプレー缶には「火気と高温に注意」というラベルが設けられている場合がほとんどで、その中に「高温にすると破裂の危険があるため、直射日光の当たる所やストーブ、ファンヒーター等の近くなど温度が 40 度以上となる所に置かないこと」と記載されていた。スプレー缶以外の製品についても 8 割以上に保管方法が記載されていた（図 6-15.2）。

◆使用期限について

しかし、使用期限に関しては、ほとんどの製品に記載がないことが判明した。記載があったのはスプレー缶（289 缶）で 1%、スプレー缶以外（225 缶）で 6%、後者の 6%は全て殺虫剤であった。

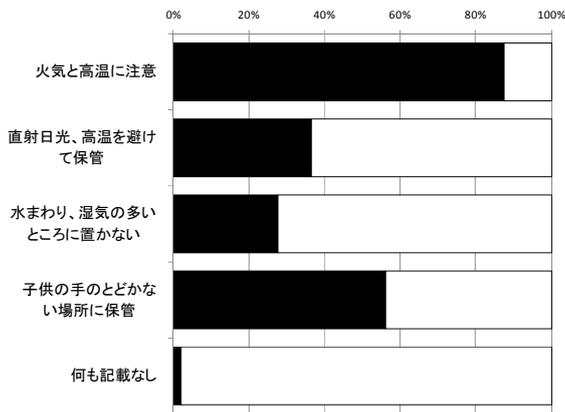


図 6-15.1 スプレー缶の保管方法の記載 (n=289)

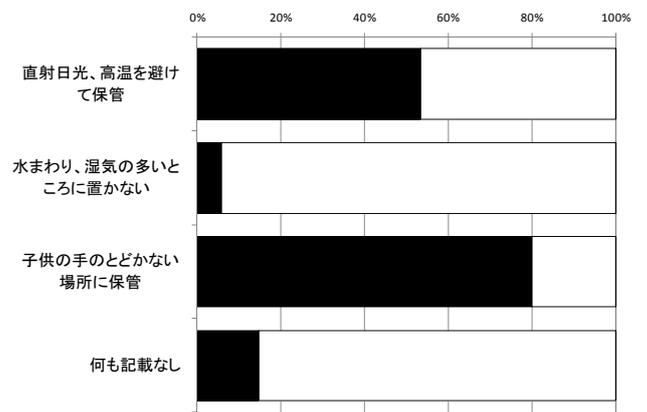


図 6-15.2 スプレー缶以外での記載 (n=225)

◆廃棄方法について

スプレー缶の廃棄方法の記載内容を図 6-16 に示す。スプレー缶製品に関しては 8 割以上の製品に「火気と高温に注意」ラベルがあり、その中に「中身を使いきって排出」という記載が確認できた。「火気と高温に注意」ラベル以外にも排出方法についていくつか記載があったが、そのほとんどが中身を排出してから廃棄する指示となっていた。その他、大量に中身を残した場合に販売元に連絡するよう指示のある製品もあったが、全体で見るとその割合はわずかであった。スプレー缶以外の製品では、「新聞にぬり広げ、乾かしてから一般ごみとして廃棄」といった具体的な表現がされているものから「適切に廃棄」といった抽象的な表現のものも見られたが、このように廃棄方法が記載してあった製品は全体の 6% しかなかった。

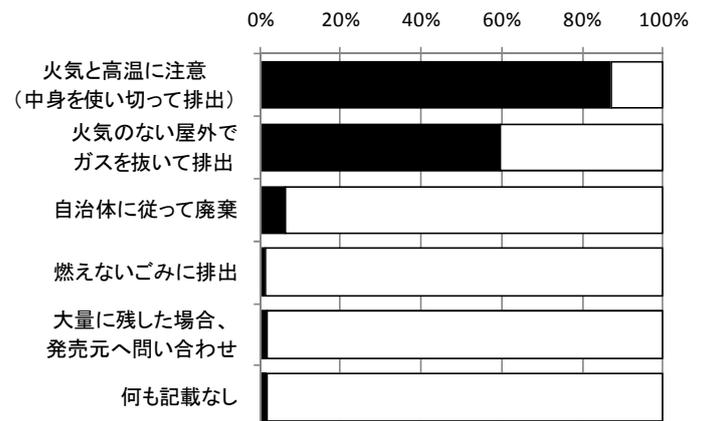


図 6-16 スプレー缶の廃棄方法の記載 (n=289)

◆残ガス排出機構について

図 6-17.1 に「残ガス排出機構」を持つ製品の割合と図 6-17.2 にその内訳を示す。この「残ガス排出機構」とは、スプレー缶の中に残ったガスを、穴をあけずに確実に安全に排出するために近年装着され始めているものである^[31]。キャップの天面のへこみを使用するタイプ、つまようじやコインを使用するタイプなどがある。集計を行った結果、スプレー缶の 22% に残ガス排出機構がとりつけられていた。製品別の内訳としては、人体用スプレー品が半分を占め、次いで殺虫剤が多い結果となっている。製品によってはほとんど取り付けが確認できなかったものもあるが、今後これらの容器が普及すれば、製品を廃棄する際に中身を排出しやすくなると思われる。

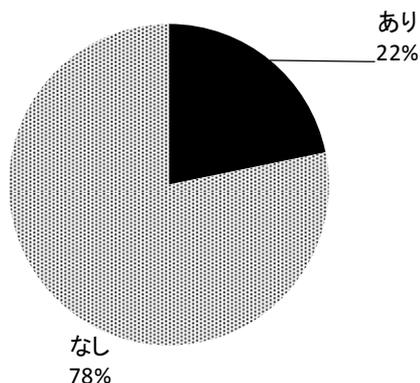


図 6-17.1 スプレー缶のガス排出機構の有無 (n=289)

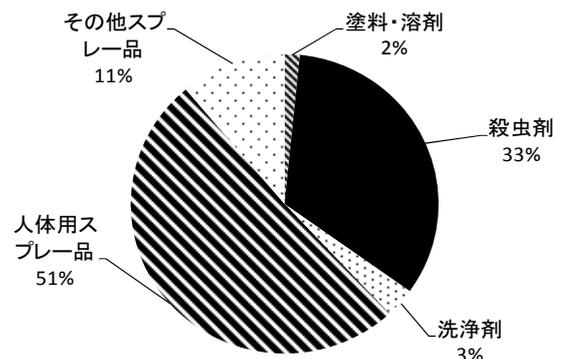


図 6-17.2 ガス排出機構を持つ製品の内訳

6.3.4 回収モデル実験の結果

6.3.4.1 結果の概要（実施状況）

回収モデル試行の実施状況を図 6-18 に示す。アンケート結果にて詳述するが、市民の方は、自転車や徒歩など、生活スタイルにあわせて気軽に回収場所に立ち寄っていた。また、地域の協力者等が行政と連携して丁寧に周知をはかり、回収場所で一緒に対応していることも多く、地域のコミュニケーションの場にもなっていた。持ち込まれた廃棄物は、後述する通り、多種多様であった。なお、アンケート項目等に入れていなかったが、高齢者の利用が顕著に多かった。

6.3.4.2 回収品目及び量

回収モデル試行の結果として、回収日程・場所・品目別の回収量等一覧を表 6-12 に示す。なお、ボタン電池は 1 個 1g、使い捨てライターは 1 個 20g、インクカートリッジは 1 個 10g、充電式電池は 1 個 10g として個数を推定している。

これによると、1 回につき 20～119 人、合計 1,113 人の利用者があった。まず、全体の回収量は、9,253kg となった。表 6-6 にアンダーラインで示した有害・危険性のあるものについて抜き出した表 6-13 によると、3,338kg となり、回収量全体量の 3 分の 1 強となることが分かった。

近所から自転車や徒歩で市民の方が持ち込む



受付にてアンケート等記入



引火物等の専用回収ヤード



蛍光管等は種類別に BOX へ



図 6-18 回収モデル試行の実施風景

有害・危険物で重かったのは石油類の 865.2kg であった。小さな製品であるにもかかわらず、乾電池は 416.5kg に及んだほか、中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶 (624.4kg)、化学薬品や塗料類 (442.9kg) も相当量回収されたことがわかる。これらの結果を、先述の家庭訪問調査の結果（各製品の保有重量；図

6-9.2)と比較すると、家庭での保有重量(使用中のものや買い置き、退蔵を含む)は、洗浄剤が圧倒的に多く(約76kg/15世帯)、ついで殺虫剤(約30kg/15世帯)、塗料・溶剤、接着剤、人体用スプレー缶、その他スプレー缶、カセットボンベ、カーメンテナンス用品、筒型一次電池がほぼ横並び(10~20kg/15世帯)となっており、洗浄剤は使用中のものも多いことを考えると、相反しない結果と考えられた。ただし、今後、流通量や所有状態等との関係から、より詳細にフローや原単位を把握する必要があると考えられた。なお、家庭訪問調査では、石油類は調査対象外としている。

持ち込まれたものの中には、ほとんど使われていないものや、未開封のものも多かったため、2月29日以降の回収では、未開封の量を記録した。その結果を表6-14に示す。これによると、それぞれ一定、未開封のものがあることがわかったが、特に中身入りカセットボンベは未開封率が3分の1以上と高いことがわかった。これを、家庭訪問調査における退蔵(不要だが保有している)・退蔵予備群(存在を失念していた)の残存率(図6-10.2)と比較すると、家庭訪問調査では、塗料・溶剤、洗浄剤、殺虫剤、カーメンテナンス用品、その他スプレー缶(人体用を除く)、カセットボンベで約5~7割、人体用スプレーとその他オイルで約2~3割の残存率となっており、今回の排出物より概して残存率が高いことがわかる。この理由はまだ明確ではないが、可能性として、まだ家庭内に多く残存したまま退蔵されている製品があることなどが考えられる。いずれにしても、今後、更なる検討が必要な点である。

表 6-12 回収日程・場所・品目別の回収量等一覧

No.	1,2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21										
期日	2月18日 (土)	2月19日 (日)	2月22日 (水)	2月25日 (土)	2月26日 (日)	2月29日 (水)	2月29日 (水)	3月3日 (土)	3月7日 (水)	3月8日 (木)	3月8日 (木)	3月10日 (土)	3月11日 (日)	3月14日 (水)	3月16日 (金)	3月20日 (火・祝)	3月21日 (水)	3月21日 (水)	3月24日 (土)	3月25日 (日)										
時間	9:00~ 14:00	9:30~ 11:30	9:00~ 11:00	9:30~ 11:30	9:00~ 12:00	9:00~ 11:00	9:30~ 11:30	9:00~ 11:00	9:30~ 11:30	9:00~ 11:00	9:30~ 12:00	9:00~ 12:00	10:00~ 12:00	9:30~ 12:00	10:00~ 12:00	13:30~ 15:30	9:00~ 11:30	9:30~ 11:30	9:30~ 11:30	9:00~ 12:00		順位	合計	平均	最小	最大				
行政区	北区	左京区	南区	伏見区	右京区	山科区	山科区	左京区	山科区	伏見区	山科区	北区	伏見区	南区	右京区	左京区	西京区	西京区	西京区	西京区	右京区									
場所	紫竹 小学校	若倉 出張所	明田 公園	美豆 小学校	美蘭ラン ト木業	山科中 央公園	若倉 出張所	山科中 央公園	府立清 助学校	山科中 央公園	紫竹 小学校	美豆 小学校	明田 公園	美蘭ラン ト木業	若倉 出張所	大宮野総合 市民会館	明田 公園	上里自 治会館	大宮野総合 市民会館	美蘭ラン ト木業		合計	平均	最小	最大					
天候	雪のち曇	曇時々雪	晴	雨	曇時々晴	雨のち曇	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	雨	晴時々雨									
回収時間(時)	5	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	3		46	2.3	2	5				
来場者数(人)	109	107	20	35	78	58	112	44	22	32	56	26	35	50	119	44	30	40	23	73		1,113	56	20	119					
回収量合計(kg)	522.1	963.0	132.9	328.4	622.2	345.0	1,132.8	168.5	164.6	214.1	375.5	270.8	273.8	388.8	1,334.1	432.3	286.0	286.1	262.0	750.5		9,253.2	462.7	132.9	1,334.1					
1	石油類	78.6	156.9	48.0	23.0	38.2	21.3	133.5	17.3	3.3	39.6	18.8	10.5	31.3	24.0	71.6	61.5	27.0	28.7	21.3	11.0	4	865.2	43.3	3.3	156.9				
2	医薬品・農薬	2.3	7.2	5.2	2.4	7.8	2.3	13.3	2.6	0.0	0.6	5.5	0.4	1.8	1.4	10.4	0.2	0.5	4.7	3.6	1.7	15	73.8	3.7	0.0	13.3				
3	化学薬品・塗料・ワックス・糊の類	43.0	39.6	0.7	3.7	16.1	7.4	70.5	10.0	17.0	2.4	21.8	32.8	15.3	55.8	57.9	15.9	5.0	8.4	9.5	10.2	7	442.9	22.1	0.7	70.5				
4	洗浄剤	10.7	13.1	0.0	1.0	14.9	2.3	23.6	3.8	1.0	1.5	5.0	1.8	4.5	7.1	29.7	25.5	0.0	5.7	7.9	5.4	13	164.5	8.2	0.0	29.7				
5	中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶	58.5	85.0	9.3	25.1	54.3	22.9	67.6	20.8	17.7	5.1	21.0	6.2	20.2	19.5	67.2	20.8	21.3	16.3	20.1	45.5	5	624.4	31.2	5.1	85.0				
6	せん定枝	17.8	69.2	0.0	19.0	0.0	72.2	85.0	0.0	0.0	9.5	8.5	10.0	0.0	32.5	90.8	24.6	0.0	0.0	20.4	18.4	6	477.9	23.9	0.0	90.8				
7	てん定枝油	27.0	40.3	6.5	2.5	23.7	16.0	38.0	2.4	0.0	0.0	16.0	4.9	5.9	1.3	49.0	5.4	2.6	8.7	0.0	4.4	11	254.6	12.7	0.0	49.0				
8	蛍光管	16.1	17.2	4.0	10.2	19.2	12.1	8.9	22.7	4.2	14.8	6.0	9.9	9.8	10.0	10.3	9.9	2.1	7.1	5.7	18.4	12	218.6	10.9	2.1	22.7				
9	乾電池	28.1	50.1	12.7	24.2	21.2	19.2	23.8	32.4	7.7	6.5	25.5	22.3	8.1	9.2	30.6	49.6	5.3	20.0	9.9	10.1	9	416.5	20.8	5.3	50.1				
10	リュースびん	46.3	30.0	9.9	3.8	6.5	15.0	40.1	1.9	14.2	10.1	7.5	6.5	4.6	1.9	29.4	6.6	24.7	15.9	2.9	15.1	10	292.9	14.6	1.9	46.3				
11	紙・パック	1.2	2.7	0.0	1.2	1.9	0.3	1.6	0.0	0.2	0.0	0.2	1.0	1.3	0.0	0.1	2.1	0.2	0.4	0.7	3.1	18	18.1	0.9	0.0	3.1				
12	古紙類	48.6	162.9	5.6	31.1	44.2	72.0	140.0	1.9	30.0	0.4	36.5	21.5	16.5	5.9	193.5	0.0	22.6	110.2	5.5	181.0	3	1,129.9	56.5	0.0	193.5				
13	雑がみ	17.4	10.1	0.0	0.0	1.3	0.0	20.0	0.7	5.0	0.0	2.5	2.2	15.6	5.0	4.7	5.1	5.5	20.5	18.4	41.4	14	158.8	7.9	0.0	41.4				
14	古着類 (対象外)	148.2	7.5	50.7	155.2	41.8	231.0	24.0	36.0	75.2	56.4	103.5	96.4	120.1	452.1	179.4	84.6	23.1	58.8	255.9	1	2,199.9	115.8	7.5	452.1					
15	ボタン電池	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21	0.8	0.0	0.0	0.1				
16	充電式電池	0.2	0.2	0.0	0.0	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.0	1.0	0.0	0.2	20	3.2	0.2	0.0	1.0				
17	小型家電	32.6	33.9	4.2	38.9	32.6	17.1	36.8	12.5	3.9	8.6	16.6	17.9	21.1	15.8	63.3	9.2	10.8	11.6	21.9	18.8	8	428.1	21.4	3.9	63.3				
18	記憶媒体類	82.0	86.4	17.4	88.4	179.1	21.9	192.3	10.6	24.0	19.4	122.9	18.8	19.2	76.1	164.4	12.5	69.0	3.0	70.6	105.0	2	1,383.0	69.2	3.0	192.3				
19	刃物類	8.2	6.4	0.6	1.8	3.4	0.4	3.3	4.2	0.0	0.8	4.0	0.0	1.4	2.1	0.4	3.2	3.7	0.4	1.3	2.3	16	47.9	2.4	0.0	8.2				
20	インクカートリッジ	2.5	0.6	0.2	0.1	0.3	0.3	1.3	0.6	0.3	1.6	0.2	0.5	0.3	0.7	1.7	0.0	0.7	0.1	0.2	0.4	19	12.6	0.6	0.0	2.5				
21	水銀体温計	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22	0.5	0.0	0.0	0.2				
22	使い捨てライター	0.8	2.9	1.1	1.2	1.7	0.1	1.9	0.0	0.0	17.8	0.6	0.0	0.2	0.1	7.1	0.7	0.4	0.3	0.0	2.1	17	39.0	2.0	0.0	17.8				
1時間当たり(kg/h)	104.4	481.5	66.4	164.2	207.4	172.5	566.4	84.3	82.3	107.1	187.7	135.4	136.9	129.6	667.1	216.2	143.0	143.0	131.0	250.2			201.2	66.4	266.8					
1人当たり(kg/人)	4.8	9.0	6.6	9.4	8.0	5.9	10.1	3.8	7.5	6.7	6.7	10.4	7.8	7.8	11.2	9.8	9.5	7.2	11.4	10.3			8.3	6.6	11.2					
空のカセットボンベ・スプレー缶(kg)	9.0	15.3	0.1	2.7	5.0	5.6	5.1	3.1	0.9	1.4	1.6	1.1	4.2	8.4	14.7	4.5	2.5	4.0	3.4	1.5			94.1	4.7	9.0	8.4				
1	石油類(未開封)(kg)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	5.0	7.0	1.5	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	2.0		26.5	1.8	0.0	7.0				
2	医薬品・農薬(未開封)(kg)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0		2.7	0.2	0.0	1.6				
3	化学薬品等(未開封)(kg)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.0	0.0	0.0		7.3	0.5	0.0	4.2					
4	洗浄剤(未開封)(kg)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	0.0	0.4	0.5	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	2.5	0.0	6.0	0.0	2.6	0.5		15.3	1.0	0.0	6.0					
5	中身入りカセットボンベ(本)うち未開封	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	49	67	13	8	38	31	35	13	13	1	8	6	18	25	49	4	15	16	16	19	444	22.2	1	67
5	中身入りスプレー缶(本)うち未開封	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	185	321	16	119	222	80	250	86	56	20	89	17	64	74	230	109	69	66	84	204	2,361	118.1	16	321
21	水銀体温計(本)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	4	0	0	0	2	0	1	1	0	9	2	1	0	0	4		158	10.5	2	37				
22	使い捨てライター(本・確定)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	40	145	55	60	85	3	95	0	1	890	30	1	10	3	355	35	20	15	1	105	1,952	97.7	0	890

品目1~4は内容物の重量(推定値)である。

表 6-13 有害・危険物の回収量 (kg)

石油類	865.2
医薬品・農薬	73.8
化学薬品・塗料・ワックス・絵の具	442.9
洗浄剤	164.5
中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶	624.4
蛍光管	218.6
乾電池	416.5
ボタン電池	0.8
充電式電池	3.2
小型家電	428.1
刃物類	47.9
インクカートリッジ	12.6
水銀体温計	0.5
使い捨てライター	39.0
合計	3,338

表 6-14 各種排出物の未開封率 (2月29日以降の合計)

	合計	未開封	未開封率
石油類 (kg)	520.6	26.5	5.1%
医薬品・農薬 (kg)	48.9	2.7	5.4%
化学薬品・塗料等 (kg)	339.8	7.3	2.1%
洗浄剤 (kg)	124.8	15.3	12.3%
中身入りカセットボンベ(本)	269	98	36.4%
中身入りスプレー缶 (本)	1498	158	10.5%

今回の有害・危険物の合計回収量について、合計参加者数で割った値を、世帯あたりの排出量原単位とすると、3kg/世帯となる。これと、**家庭訪問調査における退蔵・退蔵予備群の量**と比較する。ここで、家庭訪問調査では石油類を対象としていないため、今回の回収量から石油類を削除すると、排出原単位は2.2kg/世帯（各回収における原単位を算出すると、1.5～3.5kg/世帯）となる。それに対して、**家庭訪問調査における退蔵・退蔵予備群の量**（図 6-8.3）は平均 5.2kg/世帯となった。そもそも、退蔵量等のばらつき（0.5～18.4kg/世帯）は大きかったが、概ね退蔵量の半分程度が、今回排出された計算となる。なお、今回の参加者のうち、何人が有害・危険物を持ってきたかは不明なため（例えば、図 6-19 に示す通り、一人で多くの持ち込みがある場合などもある）、原単位の捉え方には注意を要する。いずれにしても、今後、回収実験を続けるなかで、より詳細な調査・データ取得を行う必要があると考えられた。

今後の回収システムを検討する上で、曜日設定や告知方法との関連も重要と考えられるが、曜日差等については明確な傾向は見られず、今後更に、検証のための情報を入手する必要があると考えられた。



図 6-19 一人が持ち込んだライターの例

6.3.4.3 利用者アンケート調査結果

利用者アンケート調査の結果を表 6-15 に示す。これによると、参加者については、次のような傾向がわかった。

周知方法としては、表 6-15-2 に示す通り、全体としてはチラシの効果が大きく、ついで回覧板となった。

ただし、地域によっては一方に偏っているところや、順位が逆転しているところもあり、両方を強化することで更に認知が広がる可能性があることがわかった。

回収場所までの移動手段としては、表 6-15-3 に示す通り、全体としては自転車、徒歩、自動車が 2～3 割ずつとなった。これも地域差があり、自動車が多いところと、自転車及び徒歩が多いところとに分かれた。距離は、表 6-15-4 に示す通り、約 1km 以内が多くを占めた。約 Xkm 以内というのを Xkm として計算すると平均約 1km となった。

普段の資源物の扱いについては、表 6-15-5 に示す通り、様々な回答に分かれた。約 1,000 名がアンケートに答えたことから、平均すると、それぞれ 2 つ以上の方法で処理しているということになる。これによると、保管している人・物も相当あると考えられた。ただし、有害・危険物について、どの選択肢を選んだかなどの詳細な情報がわかるアンケートではなかったため、詳細な検討は、今後の課題と考えられる。

今後の利用以降については、表 6-15-6 に示す通り、98%の参加者が、今回のような回収システムを今後も利用したいと答えた。自由意見（ここでは掲載せず）もあわせて、家庭系有害廃棄物等へのきめ細やかな対応を望む声が多いことが確認できた。

表 6-15-1 世帯人数（人）

	北部まち美化 紫竹学区	東部まち美化 岩倉学区	山科まち美化 西野/山階学区	南部まち美化 東和学区	西部まち美化 太秦学区	西京まち美化 大原野学区	伏見まち美化 淀南学区	7学区計	7学区計 (%)
1人	6	15	15	6	19	8	8	77	8
2人	27	113	50	27	63	32	28	340	37
3人	15	83	30	15	44	19	18	224	24
4人	14	61	18	14	36	25	13	181	19
5人	6	27	2	6	22	8	4	75	8
6人以上	3	5	7	3	2	6	6	32	3
計	71	304	122	71	186	98	77	929	100

表 6-15-2 本事業を知った手段（複数回答あり）

	北部まち美化 紫竹学区	東部まち美化 岩倉学区	山科まち美化 西野/山階学区	南部まち美化 東和学区	西部まち美化 太秦学区	西京まち美化 大原野学区	伏見まち美化 淀南学区	7学区計	7学区計 (%)
チラシ	47	199	118	47	163	47	66	687	67
ホームページ	3	1	0	3	2	0	0	9	1
回覧板	19	143	5	19	25	52	3	266	26
知人等	2	8	3	2	3	4	5	27	3
その他	3	10	2	3	2	6	9	35	3
計	74	361	128	74	195	109	83	1,024	100

表 6-15-3 本事業参加への移動手段

	北部まち美化 紫竹学区	東部まち美化 岩倉学区	山科まち美化 西野/山階学区	南部まち美化 東和学区	西部まち美化 太秦学区	西京まち美化 大原野学区	伏見まち美化 淀南学区	7学区計	7学区計 (%)
徒歩	24	65	56	24	46	21	12	248	26
自転車	38	56	45	38	89	19	22	307	32
バイク	0	15	7	0	11	4	5	42	4
自動車	12	181	18	12	45	54	38	360	37
その他	0	5	0	0	0	5	0	10	1
計	74	322	126	74	191	103	77	967	100

表 6-15-4 移動距離

	北部まち美化 紫竹学区	東部まち美化 岩倉学区	山科まち美化 西野/山階学区	南部まち美化 東和学区	西部まち美化 太秦学区	西京まち美化 大原野学区	伏見まち美化 淀南学区	7学区計	7学区計 (%)
約 500m 以内	56	132	86	56	95	43	39	507	52
約 1km 以内	10	111	36	10	78	28	20	293	30
約 2km 以内	7	70	6	7	22	22	15	149	15
約 5km 以内	0	16	1	0	1	6	4	28	3
その他	0	1	0	0	0	1	0	2	0
計	73	330	129	73	196	100	78	979	100

表 6-15-5 普段の資源ごみの出し方（複数回答あり）

	北部まち美化	東部まち美化	山科まち美化	南部まち美化	西部まち美化	西京まち美化	伏見まち美化	7 学区計	7 学区計 (%)
	紫竹学区	岩倉学区	西野/山階学区	東和学区	太秦学区	大原野学区	淀南学区		
燃やすごみ	31	186	48	31	80	49	33	458	21
コミュニティ回収	28	94	58	28	75	43	45	371	17
市の資源回収拠点	38	184	71	38	89	54	35	509	23
店頭回収コーナー	27	155	56	27	92	51	38	446	20
保管	14	132	46	14	63	48	34	351	16
その他	1	18	6	1	10	9	5	50	2
計	139	769	285	139	409	254	190	2,185	100

表 6-15-6 今後も利用したいか

	北部まち美化	東部まち美化	山科まち美化	南部まち美化	西部まち美化	西京まち美化	伏見まち美化	7 学区計	7 学区計 (%)
	紫竹学区	岩倉学区	西野/山階学区	東和学区	太秦学区	大原野学区	淀南学区		
ぜひ利用したい	44	244	91	44	122	68	48	661	68
利用したい	23	78	34	23	66	30	30	284	29
どちらでもない	3	5	2	3	5	2	1	21	2
あまり利用したくない	0	0	0	0	0	0	0	0	0
利用したくない	0	0	1	0	0	0	0	1	0
計	70	327	128	70	193	100	79	967	100

6.4. まとめと今後の課題

本研究では我が国及び海外で家庭系有害廃棄物、排出禁止物に該当する製品を中心に、これらの保有と廃棄の動態を把握し、適切な管理について検討するために、家庭系有害廃棄物の管理の現状を京都市とドイツの2都市において調査し、蛍光灯、乾電池（一次電池）、二次電池、小型電子機器、電源コード類、CD/DVD、農薬・劇薬・毒物、溶剤塗料・絵の具等、家庭用化学薬品等、水銀体温計、使い捨てライター、医薬品、注射器・注射針、自動車バッテリーについてフロー推定を行った。また、実態把握と今後の施策検討のため、京都市を中心に、家庭系有害廃棄物を含む幅広い有害・危険物の家庭訪問調査及び、回収モデル試行を行った。その結果、次のような成果と、今後の展開への視点が得られた。

- ・ 家庭系有害廃棄物の管理の実態については、事例として取り上げたミュンヘン（ドイツ）を始め、欧米においては、回収拠点整備や訪問回収事業等が整備されていることがわかった。それに対して、京都市等の日本の都市においても、多様な回収チャネルの検討が行われているものの、十分とは言えない状況であることがわかった。
- ・ 主要な製品についてフロー情報を整理した結果、一定の情報が得られた。ただし、回収ルートがあるものでも、回収率は低く、また、廃棄（回収）フローが把握できない製品も多かった。これらの適正処理・適正リサイクルを確保していくためには、原則的には、拠点等による回収チャネルが整備され、これによる回収割合を向上させることが重要であり、家庭系ごみ混入率を低減させる施策が求められると考えられた。
- ・ 家庭訪問調査により、15 世帯ではあるが、家庭系有害製品の保有や退蔵の動向（数量）が把握できた。また、退蔵品等も多く、今後の製品管理に示唆を与える結果が得られた。
- ・ 家庭訪問調査における退蔵等されている家庭系有害製品の平均量は 5.2kg/世帯となった。退蔵理由としては「排出方法が不明/面倒」とする回答が多くを占めた。
- ・ 回収モデル試行については、多くの参加者と回収物を得たほか、次の通り、品目ごとの家庭内保有・排出傾向を把握するための知見が得られた。
- ・ 1 回（2～3 時間程度）につき 20～119 人、7 地区（各地区 3 回実施）において合計 1,113 人の利用者があった。有害・危険性のあるものの合計回収量は 3,338kg となり、全参加者に対する排出量原単位は約 3kg/人（世帯）となった。

- ・ 有害・危険物で重かったのは石油類の 865.2kg であった。小さな製品であるにもかかわらず、乾電池は 416.5kg に及んだほか、中身の入ったカセットボンベ・スプレー缶(624.4kg)、化学薬品や塗料類(442.9kg)も相当量回収された。また、未開封のものもカセットボンベでは 36%となった。

このような製品群に対する回収に対する市民のニーズが高いことがわかったが、各品目の循環・適正処理の在り方、費用負担やシステム構築の在り方については、海外の事例等も踏まえた議論が必要と考えられた。

<参考文献>

1. European Commission; Study on Hazardous Household Chemicals(HHC), Final Report(2002).
2. 日本電子株式会社応用研究センター；よくわかる WEEE&RoHS 指令－欧州環境規制でモノ作りが変わる、日刊工業新聞社(2004).
3. EU 公式サイト.Press releases RAPID<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction> (12月31日最終確認).
4. EPA , Household Hazardous Waste Management EPA530-R=92-026, 1993.
5. 松藤敏彦、佐藤法世、中村優；家庭系有害廃棄物の排出・処理状況、平成 22 年度廃棄物資源循環学会研究討論会講演論文集.
6. 四阿秀雄、及川智、小口・家庭系有害廃棄物の管理システムに関する検討(3)、東京都環境科学研究所年報 2004、153-164.
7. Yasuda Kenji, Tanaka Masaru; Report on hazardous household waste generation in Japan, Waste Manage, 397-401, 2006.
8. JONES E L; Survey of household hazardous waste generation and collection preference in the City of Vancouver, Canadian Journal of Civil Engineering 18,3 page525-534 .
9. 京都市：新たな資源物回収制度の創設に係る基礎調査業務検討報告書、平成 20 年 3 月
10. 京都市環境局：家庭系有害・危険廃棄物対策検討調査報告書、平成 17 年 3 月
11. 中央環境審議会・リサイクル部会自動車用鉛蓄電池リサイクル専門委員会、産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会電気・電子機器リサイクルワーキンググループ自動車用バッテリーリサイクル検討会合同会合：自動車用バッテリーの回収・リサイクル推進のための方策について、平成 17 年 7 月 25 日
12. 平井康宏・酒井伸一、使用済み自動車用鉛バッテリーのフロー推定、廃棄物学会論文誌, Vol.17, No.6, pp.404-415, 2006

第7章 研究発表等

1) 著書 (共著)

1. 磯部友彦・国末達也・田辺信介 (2009): アジア-太平洋地域の化学汚染, 分子でよむ環境汚染, 鈴木 聡編著, 東海大学出版会, 2-37.
2. Shiozaki, A., Someya, M., Kunisue, T., Takahashi, S., Tuyen, B. T., Takada, H. and Tanabe, S. (2009): Contamination status of dioxins in sediments from Saigon River estuary, Vietnam. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 2, Environmental Research in Asia for Establishing a Scientist's Network*, Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 31-45.
3. Tue, N. M., Sudaryanto, A., Nhat, B. H., Takahashi, S., P. H. Viet, P. H. and Tanabe, s. (2009): Contamination by PCBs and BFRs in Vietnamese human milk associated with recycling of e-waste. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 91-97.
4. Isobe, T., Ochi, Y., Imaeda, D., Sakai, H., Hirakawa, S., Tsydenova, O., Amano, M., Petrov, E., Batoev, V., Iwata, H., Takahashi, S. and Tanabe, s. (2009): Contamination status of brominated flame retardants (BFRs) in Baikal Seals (*Pusa sibirica*). Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 119-124.
5. Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Soeyanto, E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Levels of brominated flame retardants in sediments and their bioaccumulation potential in biota from Jakarta Bay and its surroundings, Indonesia. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 125-131.
6. Sudaryanto, A., Isobe, T., Suzuki, G., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Riyadi, A. S., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Characterization of brominated flame retardants in house dust and their role as non-dietary source for human in Indonesia. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 133-141.
7. Eguchi, A., Isobe, T., Subramanian, An., Sudaryanto, A., Ramu, K., Minh, T. B., Chakraborty, P., Minh, N. H., Tana, T. S., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Contamination by brominated flame retardants in soil samples from open dumping sites of Asian developing countries. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 143-151.
8. Hayase, D., Horai, S., Isobe, T., Miller, T. W., Takahashi, S., Omori, K. and Tanabe, S. (2009): Monitoring trace elements in coastal waters using sardine as a bioindicator. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 167-175.
9. Horai, S., Hayase, D., Takahashi, S., Ishikawa, T., Kumagai, M. and Tanabe, S. (2009): Mass mortality and trace element residues in isaza (*Gymnogobius isaza*) collected from Lake Biwa, Japan. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 177-183.
10. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Anantasena, Y., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Is arsenic a potential threat for human health in Indonesia? Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 185-189.
11. Takeshita, H., Fujihara, J., Agusa, T., Takahashi, S., Iwata, H. and Tanabe, S. (2009): Genetic

- polymorphism influencing arsenic metabolism in human. Obayashi, Y., Isobe, T., Subramanian, An., Suzuki, S. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 191-195.
12. Agusa, T., Iwata, H., Fujihara, J., Kunito, T., Takeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2010): Interindividual variation in arsenic metabolism in a Vietnamese population: association with 17 single nucleotide polymorphisms in AS3MT. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 3, *Biological Responses to Chemical Contaminants: From Molecular to Community Level*, Hamamura, N., Suzuki, S., Mendo, S., Barroso, C. M., Iwata, H. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 113-119.
 13. Agusa, T., Fujihara, J., Takeshita, H., Tanabe, S., Iwata, H., Kunito, T., Minh, T. B., Trang, P. T. K. and Viet, P. H. (2010): Methylation of inorganic arsenic and genetic polymorphisms in arsenic (+III oxidation state) methyltransferase in a Vietnamese population. *Arsenic in Geosphere and Human Diseases*, Jian, J. S., Bundschuh, J and Bhattacharya, P. (Eds), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 329-331.
 14. Tanabe, S. and Ramu, K. (2010): Environmental Specimen Bank (es-BANK) of Ehime University, Japan –current status and future perspectives–. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiyama, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 1-5.
 15. Isobe, T., Amano, A., Chang, K. H., Maneja, R. H., Zamora, P. B., Miller, T. W. and Tanabe, S. (2010): Retrospective assessment of environmental pollution by PBDEs and HBCDs using sediment core from Manila Bay, the Philippines. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiyama, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 61-65.
 16. Hirata, S. H., Yasuda, Y., Urakami, S., Isobe, T., Yamada, T. K., Tajima, Y., Amamo, M., Miyazaki, N., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Environmental monitoring of trace elements using marine mammals as bioindicators -species-specific accumulations and temporal trends-. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiyama, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 75-79.
 17. Subramanian, A., Devanathan, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Pollution trends in India –evidence for the need of an environmental specimen bank. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiyama, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 111-118.
 18. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Characterization of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in sediments from leachate and control wells of Benowo dumping site, Surabaya, Indonesia: a preliminary report. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiyama, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 161-166.
 19. Eguchi, A., Nomiyama, K., Subramanian, An., Parthasarathy, P., Bulbule, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Organohalogen and metabolite contaminants in human serum samples from Indian

- e-waste recycling workers. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiya, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 167-174.
20. Kim, J. W., Isobe, T. and Tanabe, S. (2010): UPLC-MS/MS determination of organophosphorus flame retardants and ultraviolet absorbers in river water and STP effluent samples. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiya, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 183-189.
 21. Asante, K. A., Sudaryanto, A., Devanathan, G., Bello, M., Takahashi, S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2010): Polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in cow milk samples from Ghana. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiya, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 191-198.
 22. Hayase, D., Agusa, T., Toyoshima, S., Takahashi, S., Hirata, S. H., Itai, T., Omori, K., Nishida, S., and Tanabe, S. (2010): Biomagnification of arsenic species in the deep-sea ecosystem of the Sagami Bay, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiya, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 199-204.
 23. Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Ilyas, M., Anantasena, Y., Djamaluddin, R. Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Utilization of es-BANK of Ehime University for monitoring environmental pollutants in Indonesia: a case study for brominated flame retardants in biota, human and environmental samples. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 4, *Environmental Specimen Bank: Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries*, Isobe, T., Nomiya, K., Subramanian and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 205-213.
 24. 田辺信介 (2010): 生態系を蝕む化学汚染—残留性有機汚染物質, 地球環境学事典, 総合地球環境学研究所編, 弘文堂, 東京, 64-65.
 25. Ono, J., Takahashi, D., Guo, X., Takahashi, S. and Takeoka, H. (2011): Process study on numerical simulation for persistent organic pollutants in the East China Sea. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 197-204.
 26. Ogawa, S, Isobe, T., Ramu, K., Subramanian, An., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Monitoring of contamination by non-PBDEs brominated flame retardants in Asian coastal waters using mussels as a bioindicator. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 205-211.
 27. Nakashima, E., Isobe, A., Kako, S., Magome, S., Deki, N., Itai, T. and Takahashi, S. (2011): Toxic metals in polyethylene plastic litter. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 271-277.
 28. O'Hara, T., Kunito, T., Woshner, V. and Tanabe, S. (2011): Select elements and potential adverse effects in cetaceans and pinnipeds. *Environmental Contaminants in Biota – Interpreting Tissue*

- Concentrations, 2nd Edition, Beyer, W. N. and Meador, J. P. (Eds), CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 377-406.
29. Agusa, T., Kunito, T., Inoue, S., Kubota, R., Ramu, K., Minh, T. B., Tue, N. M., Ha, N. N., Tu, N. P. C., Fujihara, J., Charaborty, P., Chamnan, C., Trang, P. T. K., Reungsang, A., Srisuk, K., Nakamura, S., Takizawa, S., Takeshita, H., Takahashi, S., Subramanian, An., Tuyen, B. C., Viet, P. H., Tana, T. S., Tanabe, S. and Iwata, H. (2012): Exposure, metabolism, and effects of arsenic in residents from arsenic-contaminated groundwater areas of Southeast Asia. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Nguyen, T. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 125-132.
 30. Riyadi, A. S., Itai, T., Isobe, T., Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Spatial profile of trace elements in marine sediments from Jakarta Bay, Indonesia. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 141-150.
 31. Yasuda, Y., Hirata, H. S., Itai, T., Isobe, T., Matsuishi, T., Yamada, T. K., Tajima, Y., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): A comparative study on temporal trends of trace elements in harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) from coastal waters of north Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 151-159.
 32. Otsuka, M., Itai, T., Asante, K. A., Muto, M. and Tanabe, S. (2012): Trace element contamination around the e-waste recycling site at Agbogbloshie, Accra city, Ghana. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 161-167.
 33. Hien, P. H., Tue, N. M., Suzuki, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in fishes collected from Tam Giang-Cau Hai lagoon, Vietnam. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 221-227.
 34. Muto, M., Isobe, T., Ramu, K., Tue, N. M., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Contamination of brominated flame retardants (BFRs) in human hair from e-waste recycling site in Vietnam. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 229-237.
 35. Isobe, T., Kim, J. W., Tue, N. M., Misaki, K., Takahashi, S., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2012): Determination of perfluoroalkyl compounds in aqueous samples from northern Vietnam. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Vol. 6, Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 239-244.

36. Devanathan, G., Isobe, T., Subramanian, An., Asante, K. A., Natarajan, S., Palaniappan, P., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Present status of contamination by polychlorinated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecanes in India. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 6, *Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 269-277.
37. 酒井 伸一 (2009) "循環型社会と化学物質." 崎田 裕子; 酒井 伸一 (編)循環型社会をつくる; 中央法規出版: 東京都 p.163-195

2) 原著論文

1. Takigami H., Suzuki G., Hirai Y., Sakai S.-i. (2009) Brominated flame retardants and other polyhalogenated compounds in indoor air and dust from two houses in Japan. *Chemosphere*, 76 (2), 270-277
2. Takigami H., Suzuki G., Hirai Y., Ishikawa Y., Sunami M., Sakai S.-i. (2009) Flame retardants in indoor dust and air of a hotel in Japan. *Environ. Int.*, 35 (4), 688-693
3. Suzuki G., Kida A., Sakai S.-i., Takigami H. (2009) Existence state of bromine as an indicator of the source of brominated flame retardants in indoor dust. *Environ. Sci. Technol.*, 43 (5), 1437-1442
4. Suzuki, G., Someya, M., Takahashi, S., Tanabe, S., Sakai, S., Takigami H. (2010): Dioxin-like Activity in Japanese Indoor Dusts Evaluated by Means of in Vitro Bioassay and Instrumental Analysis: Brominated Dibenzofurans Are an Important Contributor. *Environmental Science and Technology*, 44(21), 8330–8336.
5. Sato, M., Takigami, H., Hayakawa, K., Sakai, S. (2010): Water-quality monitoring technique for dioxins during dredging using on-site solid phase extraction with graphitic carbon and analysis with DR-CALUX. *Journal of Environmental Science and Health Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 45 (7) 867–874
6. Takigami, H., Suzuki, G., Sakai, S. (2010): Screening of dioxin-like compounds in bio-composts and their materials: Chemical analysis and fractionation-directed evaluation of AhR ligand activities using in vitro bioassay (DR-CALUX). *Journal of Environmental Monitoring* 12(11) 2080–2087.
7. 滝上英孝、光原好人、松山喜代志、酒井伸一 (2011) : 金属ナトリウム法による PCB 処理過程のバイオアッセイモニタリング. *環境工学研究論文集* 47, 141–148.磯部友彦・国末達也・田辺信介 (2009): アジア-太平洋地域の化学汚染, 分子でよむ環境汚染, 鈴木 聡編著, 東海大学出版会, 2-37.
8. Agusa, T., Iwata, H., Fujihara, J., Kunito, T., Takeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet P. H. and Tanabe, S. (2009): Genetic polymorphisms in AS3MT and arsenic metabolism in residents of the Red River Delta, Vietnam. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 236(2), 131-141.
9. Fujihara, J., Agusa, T., Tanaka, J., Fujii, Y., Moritani, T., Hasegawa, M., Iwata, H., Tanabe, S. and Takeshita, H. (2009): 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) as a possible marker of arsenic poisoning: a clinical case study on the relationship between concentrations of 8-OHdG and each arsenic compound in urine of an acute promyelocytic leukemia patient being treated with arsenic trioxide. *Forensic Toxicology*, 27(1), 41-44.
10. Agusa, T., Inoue, S., Kunito, T., Minh, T. B., Ha, N. N., Tu, N. P. C., Trang, P. T. H., Iwata, H., Viet, P. H., Tuyen, B. C. and Tanabe, S. (2009): Human exposure to arsenic from groundwater in the Red

- River and Mekong River Deltas in Vietnam. *International Journal of Environmental Studies*, 66(1), 49-57.
11. Ha, N. N., Agusa, T., Ramu, K., Tu, N. P. C., Murata, S., Bulbule, K. A., Parthasaraty, P., Takahashi, S., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2009): Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India. *Chemosphere*, 76(1), 9-15.
 12. Sakai, H., Kim, E. Y., Petrov, E. A., Tanabe, S. and Iwata, H. (2009): Transactivation potencies of Bikal seal constitutive active/androstane receptor by persistent organic pollutants and brominated flame retardants. *Environmental Science and Technology*, 43(16), 6391-6397.
 13. Isobe, T., Oda, H., Takayanagi, N., Kunisue, T., Komori, H., Arita, N., Ueda, N., Nose, M., Yamada, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Hexabromocyclododecanes in human adipose tissue from Japan. *Environmental Chemistry*, 6(4), 328-333.
 14. Wan, Y., Wiseman, S., Chang, H., Zhang, X., Jones, P. D., Hecker, M., Kannan, K., Tanabe, S., Hu, J., Lam, M. H. W. and Giesy, J. P. (2009): Origin of hydroxylated brominated diphenyl ethers: natural compounds or man-made flame retardants? *Environmental Science and Technology*, 43(19), 7536-7542.
 15. Malarvannan, G., Kunisue, T., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2009): Organohalogen compounds in human breast milk from mothers living in Patayas and Malate, the Philippines: Levels, accumulation kinetics and infant health risk. *Environmental Pollution*, 157(6), 1924-1932.
 16. Someya, M., Ohtake, M., Kunisue, T., Subramanian, An., Takahashi, S., Chakraborty, P., Ramachandran, R. and Tanabe, S. (2010): Persistent organic pollutants in breast milk of mothers residing around an open dumping site in Kolkata, India: specific dioxin-like PCB levels and fish as a potential source. *Environmental International*, 36(1), 27-35.
 17. Agusa, T., Iwata, H., Fujihara, J., Kunito, T., Tekeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2010): Genetic polymorphisms in glutathione S-transferase (GTS) superfamily and arsenic metabolism in residents of the Red River Delta, Vietnam. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 242(3), 352-362.
 18. Ueno, D., Isobe, T., Ramu, K., Tanabe, S., Alaei, M., Inoue, K., Someya, T., Miyajima, T., Kodama, H. and Nakata, H. (2010): Spatial distribution of hexabromocyclododecanes (HBCDs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and organochlorines in bivalves from Japanese coastal waters. *Chemosphere*, 78(10), 1213-1219.
 19. Tue, N. M., Sudaryanto, A., Minh, T. B., Isobe, T., Takahashi, S., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2010): Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste sites. *Science of the Total Environment*, 408(9), 2155-2162.
 20. Watanabe, M. X., Kunisue, T., Tao, L., Kannan, K., Subramanian, An., Tanabe, S. and Iwata, H. (2010): Dioxin-like and perfluorinated compounds in pigs in an Indian open waste dumping site: toxicokinetics and effects on hepatic cytochrome P450 and blood plasma hormones. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(7), 1551-1560.
 21. Ramu, K., Isobe, T., Takahashi, S., Kim, E. Y., Min, B. Y., Web, S. U. and Tanabe, S. (2010): Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecanes in sediments from coastal waters of Korea. *Chemosphere*, 79(7), 713-719.
 22. Wan, Y., Jones, P. D., Wiseman, S., Chang, H., Chorney, D., Kannan, K., Zhang, K., Hu, J. Y., Khim,

- J. S., Tanabe, S., Lam, M. H. W. and Giesy, J. P. (2010): Contribution of synthetic and naturally occurring organobromine compounds to bromine mass in marine organisms. *Environmental Science and Technology*, 44(16), 6068-6073.
23. Asante, K. A., Agusa, T., Kubota, R., Mochizuki, H., Ramu, K., Nishida, S., Ohta, S., Yeh, H., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2010): Trace elements and stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in fish from deep-waters of the Sulu Sea and the Celebes Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 60(9), 1560-1570.
 24. Tue, N. M., Suzuki, G., Takahashi, S., Isobe, T., Trang, P. T. K., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2010): Evaluation of dioxin-like activities in settled house dust from Vietnamese e-waste recycling sites: relevance of polychlorinated/brominated dibenzo-p-dioxin/furans and dioxin-like PCBs. *Environmental Science and Technology*, 44(23), 9195-9200.
 25. 阿草哲郎・藤原純子・竹下治男・田辺信介・岩田久人・國頭 恭 (2010): ベトナム人における AS3MT 遺伝子多型とヒ素代謝能の関係, DNA 多型, 18(1), 242-245.
 26. Anan, Y., Ishibashi, K., Suzuki, N., Tanabe, S. and Ogura, Y. (2011): Speciation and identification of low molecular weight selenium compounds in the liver of sea turtles. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26(1), 80-85.
 27. Sudaryanto, A., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Assessment of persistent organic pollutants in sediments from Lower Mekong River Basin. *Chemosphere*, 82(5), 679-686.
 28. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Characterization of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in sediments from riverine and coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 89-98.
 29. Agusa, T., Takagi, K., Miller, T. W., Kubota, R., Anan, Y., Iwata, H. and Tanabe, S. (2011): Intake and excretion of arsenicals in green (*Chelonia mydas*) and hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*). *Environmental Chemistry*, 8(1), 19-29.
 30. Eguchi, A., Isobe, T., Ramu, K. and Tanabe, S. (2011): Optimisation of the analytical method for octa-, nona- and deca-brominated diphenyl ethers using gas chromatography-quadrupole mass spectrometry and isotope dilution. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 91(4), 348-356.
 31. Sudaryanto, A., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Assessment of persistent organic pollutants in sediments from Lower Mekong River Basin. *Chemosphere*, 82(5), 679-686.
 32. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Characterization of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in sediments from riverine and coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 62(1), 89-98.
 33. Amano, A., Kuwae, M., Agusa, T., Omori, K., Takeoka, H., Tanabe, S. and Sugimoto, T. (2011): Spatial distribution and corresponding determining factors of metal concentrations in surface sediments of Beppu Bay, southwest Japan. *Marine Environmental Research*, 71(4), 247-256.
 34. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Ogawa, S., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Characterization of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in surface soils from Surabaya, Indonesia. *Chemosphere*, 83(6), 783-791.
 35. Asante, K. A., Adu-Kumi, S., Nakahiro, K., Takahashi, S., Isobe, T., Sudaryanto, A., Devanathan, G., Clarke, E., Ansa-Asare, O. D., Dapaah-Siakwan, S. and Tanabe, S. (2011): Human exposure to PCBs, PBDEs, and HBCDs in Ghana: temporal variation, sources of exposure and estimation of daily intakes by infants. *Environment International*, 37(5), 921-928.

36. Tu, N. P. C., Agusa, T., Ha, N. N., Tuyen, B. C., Tanabe, S. and Takeuchi, I. (2011): Stable isotope-guided analysis of biomagnification profiles of arsenic species in a tropical mangrove ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 63(5-12), 124-134.
37. Kim, J. W., Isobe, T., Ramaswamy, B. R., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. M., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2011): Contamination and bioaccumulation of benzotriazole ultraviolet stabilizers in fish from Manila Bay, the Philippines using an ultra-fast liquid chromatography–tandem mass spectrometry, *Chemosphere*, 85(5), 751-758.
38. Kim, J. W., Isobe, T., Chang, K. H., Amano, A., Maneja, R. H., Zamora, P. B., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2011): Levels and distribution of organophosphorus flame retardants and plasticizers in fishes from Manila Bay, the Philippines. *Environmental Pollution*, 159(12), 3653-3659.
39. Ramaswamy, B. R., Kim, J. W., Isobe, T., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. W., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2011): Determination of preservative and antimicrobial compounds in fish from Manila Bay, Philippines using ultra high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry, and assessment of human dietary exposure. *Journal of Hazardous Materials*, 192(3), 1739-1745.
40. Devanathan, G., Subramanian, An., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2012): Brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls in human breast milk from several locations in India: potential contaminant sources in a municipal dumping site. *Environmental International*, 39(1), 87-95.
41. Asari, M.; Sakai, S. (2011) "Consumer perspectives on household hazardous waste management in Japan." *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 13(1): 10-24
42. Yoshida, H.; Takahashi, K.; Takeda, N.; Sakai, S. (2009) "Japan's waste management policies for dioxins and polychlorinated biphenyls." *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 11(3): 229-243
43. 相澤 寛史; 平井 康宏; 酒井 伸一 (2009) "日本における小型電気電子機器のリサイクル." *廃棄物資源循環学会論文誌*, 20(6): 371-382
44. 酒井 伸一; 浅利 美鈴; 佐藤 直己; 宮島 章 (2009) "レジ袋に含まれる鉛とその物質フローについて." *環境化学*, 19(4): 497-507
45. Sakai,S., Yoshida,H., Hirai,Y., Asari,M., Takigami,H., Takahashi,S., Tomoda,K., Peeler,M.V., Wejchert,J., Unterseh,T.S., Douvan,A.R., Hathaway,R., Hylander,L.D., Fischer,C., Oh,G.J., Jinhui,L., Chi,N.G...: *International Comparative Study of 3R and Waste Management Policy Developments, J Mater Cycles Waste Manag*, Vol.13, No.2, 86-102 (2011)
46. 池松達人、森安洋平、平井康宏、酒井伸一：ごみ減量効果に寄与するごみ有料化施策の制度設計要因分析，*環境システム研究論文集 第39巻*，pp.II_459-II_467, 2011
47. 浅利美鈴、丸川純、酒井伸一：廃電池の排出動態とリサイクルの現状分析，*廃棄物資源循環学会誌*，Vol.22, No.6, pp.412-425 (2011)

3) 総説

1. Tanabe, S. and Minh, T. B. (2010): Dioxins and organohalogen contaminants in the Asia Pacific region. *Ecotoxicology*, 19(3), 463-478.
2. 田辺信介 (2009): 海洋生態系を蝕む化学汚染, *Ebucheb 季刊 海の未来を考える*, 35, 2-5.
3. 磯部友彦・田辺信介 (2010): 臭素系難燃剤による環境汚染とヒトの暴露, *水環境学会誌*, 33(5), 134-137.

4. Agusa, T., Kunito, T., Kubota, R., Inoue, S., Fujihara, J., Minh, T. B., Ha, N. N., Tu, N. P. C., Trang, P. T. K., Chamnam, C., Takeshita, H., Iwata, H., Tuyen, B. C., Viet, P. H., Tana, T. S. and Tanabe, S. (2010): Exposure, metabolism, and health effects of arsenic in residents from arsenic-contaminated groundwater areas of Vietnam and Cambodia: a review. *Reviews on Environmental Health*, 25(3), 193-220.
5. 高橋 真・Tue, N. M.・Viet, P. H.・田辺信介 (2011): ベトナム E-waste 処理地域における臭素系難燃剤およびダイオキシン類縁化合物の人体汚染と暴露実態, *廃棄物資源循環学会誌*, 22(2), 169-179.
6. 酒井 伸一 (2009) "日本のバイオエネルギー戦略." *環境情報科学*, 38(3): 15-21
7. 酒井 伸一 (2010) "自動車リサイクルと化学物質管理." *廃棄物資源循環学会誌*, 21(2): 103-110
8. 酒井 伸一 (2010) "教育研究機関における環境管理と廃棄物対策." *環境技術会誌*, No. 141: 69-73
9. 酒井 伸一 (2010) "POPs やアスベストと化学物質への多目的対応." *化学物質と環境*, No. 100: 71
10. 酒井伸一:環境管理技術の社会的活用—PCB 処理を例として, *環境情報科学* 40 巻 3 号, pp.36-40 (2011.11)
11. 酒井伸一: 廃棄物処理の課題と展望, *環境技術会誌*, No. 143, pp.29-31 (2011)
12. 酒井伸一、浅利美鈴: 災害廃棄物処理の課題と展望, *環境技術会誌*, No. 144, pp.5-10 (2011)
13. 酒井伸一: 総論: 廃棄物管理から循環型社会への展望, *電気評論*, 第 96 巻第 12 号, pp.7-11 (2011)

4) 学会発表 (国際)

1. Takigami H, Sato M, Sakai S, Tanabe S, Brouwer A. (2009) Application of a panel of nuclear receptor/reporter gene bioassays to marine harbor sediments in Asia. *Organohalogen compounds*, 71, 775-777.
2. Kajiwara N., Noma Y., Takigami H. (2009) Brominated and phosphorus compounds in televisions and a personal computer in the Japanese market in 2008. 29th Int. Symp. Halogenat. Persistent Org. Pollut.-DIOXIN 2009, *Organohalogen Compd.*, 71: 795-799 (Beijing, 2009 年 8 月)
3. Kose T., Takigami H., Sakai S. (2009) Behavior analysis and control of brominated flame retardants from household products using model rooms. 29th Int. Symp. Halogenat. Persistent Org. Pollut.-DIOXIN 2009, *Organohalogen Compd.*, 71: 1422-1427 (Beijing, 2009 年 8 月)
4. Takigami H. (2009) Brominated flame retardants (BFRs) as household hazardous compounds -Occurrence, sources and control of BFRs in our daily life-. *Kyoto Workshop 3R (Reduce, Reuse & Recycle) Waste Manage.* (京都, 2009 年 10 月)
5. Takigami, H. (2010): Official use of dioxin bioassays in Japan. 4th Workshop on Reduction of Unintentional POPs in East Asian Countries, Tokyo, Japan, December, Abstracts, Session II-1.
6. Takigami, H.; Suzuki, G.; Hirai, Y.; Sakai, S. (2010) "Occurrence of organophosphate flame retardants and plasticizers in a laundry factory for home and office cleaning tools." *Organohalogen Compounds*, 72:
7. Kuramochi, H.; Takigami, H.; Sakai, S. (2010) "Measurement of vapor pressures of some PBDES and Non-PBDE flame retardants and evaluation of their persistence and long-range transportation potential." *Organohalogen Compounds*, 72:
8. Sudaryanto, A., Ilyas, M., Soeyanto, E., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and

- Tanabe, S. (2009): Assessment of persistent toxic substances in Jakarta Bay, Indonesia with special reference to brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls. International Symposium on Ocean Science, Technology and Policy, Manado, North Sulawesi, Indonesia, May, Abstracts, Chapter V-B, 6-7.
9. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Soeyanto, E., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Contamination by brominated flame retardants in surface sediments from the coastal waters of Surabaya: levels, distribution, and profiles. International Symposium on Ocean Science, Technology and Policy, Manado, North Sulawesi, Indonesia, May, Abstracts, Chapter V-B, 7-8.
 10. Isobe, T., Toyoshima, S., Miller, T. W., Omori, K., Nishikawa, J., Chiba, S., Yamamura, O., Brodeur, R., Emmett, R., Dewar, H. and Tanabe, S. (2009): Contamination status and accumulation profiles of brominated flame retardants in eastern and western boundary current ecosystems of the North Pacific Ocean. International Symposium on Ocean Science, Technology and Policy, Manado, North Sulawesi, Indonesia, May, Abstracts, Chapter V-B, 8.
 11. Isobe, T., Ramu, K. and Tanabe, S. (2009): Retrospective analysis of environmental contaminants: advantages of environmental specimen bank (es-BANK) of Ehime University. The 2nd Joint Forum of Environmental Sciences 2009, Yeosu, Korea, July, Abstracts, 8.
 12. Tue, N. M., Suzuki, G., Isobe, T., Takahashi, S., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2009): Levels of polychlorinated biphenyls, brominated flame retardants and dioxin-like activities associated with e-waste recycling in Vietnamese house dust. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 5.
 13. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2009): Brominated flame retardants in house dust from the Philippines: levels, profiles and fate. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 5.
 14. Subramanian, An., Ramu, K., Devanathan, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Spacial and temporal trends of persistent toxic substances in India. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 21.
 15. Sudaryanto, A., Malarvannan, G., Xian, Q., Ramu, K., Isobe, T., Minh, N. H., Takahashi, S., Iwata, H. and Tanabe, S. (2009): Assessment of brominated flame retardants in fish from Asian countries; levels, distribution, profiles and health risk. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 33.
 16. Isobe, T., Amano, A., Chang, K. H., Miller, T. W., Maneja, R. H., Zamora, P. B., San Diego-McGlone, M. L., Siringan, F. and Tanabe, S. (2009): Spacial and vertical distribution of brominated flame retardants in sediments from Manila Bay, The Philippines. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 33.
 17. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Soeyanto, E., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Polychlorinated biphenyls (PCBs) and brominated flame retardants (BFRs) in surface sediments of Surabaya City, Indonesia: a comparison between rivers and coastal waters. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 35.
 18. Shimizu, J., Takahashi, S., Isobe, T., Subramanian, An., Kunacheva, C., Fukaumi, M., Uchida, K.,

- Matsumura, T., Toju, H., Tanaka, S., Fujii, S. and Tanabe, S. (2009): Development of monitoring system for persistent organic pollutants in offshore waters around Japan: results from the first investigation in the East China Sea. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 85.
19. Eguchi, A., Isobe, T., Subramanian, An., Sudaryanto, A., Viet, P. H., Tana, T. S., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Contamination by brominated flame retardants in soil samples from Asian developing countries. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 100.
 20. Someya, M., Suzuki, G., Subramanian, An., Zheng, G. J., Lam, P. K. S., Prudente, M., Min, B. Y., Zakaria, M. P., Viet, P. H., Tana, T. S., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Mussel watch program: monitoring of dioxin related compounds in Asian coastal waters using mussels as bioindicators. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 102.
 21. Devanathan, G., Agus, S., Subramanian, An., Isobe, T., Someya, M., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Persistent organohalogen compounds in human breast milk collected from different regions in India. 29th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants, DIOXIN 2009, Beijing, China, August, Abstract Book, 140.
 22. Agusa, T., Iwata, H., Fujihara, J., Kunito, T., Takeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2009): Interindividual variation in arsenic metabolism in a Vietnamese population: association with single nucleotide polymorphisms in AS3MT. Interdisciplinary Symposium for Young Investigators on Biological Responses to Chemical Contaminants: from Molecular to Community Level, Aveiro, Portugal, Aveiro, Portugal, September, Abstract Book, 30.
 23. Takahashi, S., Kannan, K. and Tanabe, S. (2009): Contamination status and distribution of emerging POPs and related compounds in Asia-Pacific region. The 3rd Workshop on Reduction of Unintentional POPs in East Asian Countries, Tokyo, October.
 24. Tanabe, S. (2009): Environmental and biotic contamination by POPs in the Asia-Pacific region. International Seminar on Pesticide and Persistent Organic Pollutants (POPs) Resissues in the Environments and Their Effects on Food Safety, Taichung, Taiwan, ROC, October, Program of Activities, 1-1-1-21.
 25. Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Global distribution and potential sources of persistent toxic substances: recent issues in the Asia-Pacific region. Kyoto Workshop on 3R (Reduce, Reuse & Recycle) and Waste Management, Kyoto, October.
 26. Kannan, K. and Tanabe, S. (2009): Utility of archived samples from environmental specimen bank in understanding spatial and temporal trends of perfluorinated compounds. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 14.
 27. Isobe, T., Sudaryanto, A., Ramu, K. and Tanabe, S. (2009): Spatial and temporal trend study on environmental pollution by brominated flame retardants using archived samples. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 20.
 28. Hirata, S. H., Urakami, S., Yasuda, Y., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Environmental monitoring of trace elements using marine mammals as bioindicators –species specific accumulation

- and temporal trend analysis-. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 22.
29. Ha, N. N., Agusa, T., Tue, N. M., Minh, T. B., Minh, N. H., Itai, T., Takahashi, S., Subramanian, An., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2009): Soil contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Vietnam and India. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 44.
 30. Itai, T., Ishibashi, T. and Takahashi, Y. (2009): Variations in the redox state of As and Fe measured by X-ray absorption spectroscopy in aquifers of Bangladesh and their effect on As adsorption. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 46.
 31. Agusa, T., Iwata, H., Fujihara, J., Kunito, T., Takeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet, P. H. and Tanabe S. (2009): Association of inorganic arsenic metabolism with genetic polymorphisms of GST isoforms in north Vietnamese populations: utilization of stored samples in the environmental specimen bank of Ehime University. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 47.
 32. Tue, N. M., Suzuki, G., Isobe, T., Takahashi, S., Kannan, K. and Tanabe, S. (2009): Toxic identification and evaluation approach on house dust from New York, USA using DR-CALUX and chemical analysis of dioxin-like compounds. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 63.
 33. Someya, M., Suzuki, G., Subramanian, An., Zheng, G. J., Lam, P. K. S., Prudente, M., Min, B. Y., Zakaria, M. P., Viet, P. H., Tana, T. S., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Mussel watch program: monitoring of dioxin related compounds in Asian coastal waters using DR-CALUX assay and chemical analysis. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 64.
 34. Watanabe, M. X., Kunisue, T., Tao, L., Kannan, K., Subramanian, An., Tanabe, S. and Iwata, H. (2009): Effects of dioxin-like and perfluorinated compounds on Hepatic cytochrome P450 and plasma hormones in pigs from an Indian open waste dumping site. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 71.
 35. Eguchi, A., Nomiya, K., Subramanian, An., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Organohalogen and metabolite contaminants in human serum samples from Indian waste recycling workers. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 78.
 36. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Characterization of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments from dumpsite areas and its leachate treatment plants (LTPs) of Benowo dumpsite, Surabaya City. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of

- Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 79.
37. Devanathan, G., Sudaryanto A., Subramanian, An., Asante, K., Isobe T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in human breast milk collected from different regions in India. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 80.
 38. Malarvannan, G., Takahashi, S., Ikemoto, T., Isobe, T., Kunisue, T., Sudaryanto, A., Miyagi, T., Nakamura, M., Yasumura, S. and Tanabe, S. (2009): Organohalogen compounds in fishes from Nansei Islands, Japan: levels, distribution and profiles. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 82.
 39. Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Anantasena, Y., Djamaluddin, R., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Utilization of es-BANK of Ehime University for monitoring environmental pollutants in Indonesia: a case for brominated flame retardants in biota, human and environmental samples. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 83.
 40. Ogawa, S. P., Ramu K., Isobe, T. and Tanabe, S. (2009): Spatial distribution and accumulation of BFRs in mussel from coastal waters of Asian countries. International Symposium on Environmental Specimen Bank – Exploring Possibility of Setting-up ESBs in Developing Countries, Matsuyama, Japan, December, Abstract Book, 85.
 41. Subramanian, An. and Tanabe, S. (2010): Sources of Chemical pollution in Asian developing countries – municipal and e-waste dumping sites. International Symposium on Trace Organic Pollutants in the Environment, Tiruchirappalli, Tamilnadu, India, January, Abstract Book, 10.
 42. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2010): Contamination by brominated flame retardants in the Philippines environment. International Symposium on Trace Organic Pollutants in the Environment, Tiruchirappalli, Tamilnadu, India, January, Abstract Book, 20.
 43. Tu, N. P. C., Ha, N. N., Matsuo, H., Tuyen, B. C., Tanabe, S. and Takeuchi, I. (2010): Biomagnification profiles of trace elements through food web of integrated shrimp farm in Ba Ria Vung Tau, South Vietnam. 1St International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, Ho Chi Minh City, Vietnam, March, Abstract CD, 13-14.
 44. Ha, N. N., Agusa, T., Tue, N. M., Minh, T. B., Minh, N. H., Itai, T., Takahashi, S., Subramanian, An., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2010): Soil contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Vietnam and India. 1St International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, Ho Chi Minh City, Vietnam, March, Abstract CD, 14-15.
 45. Agusa, T., Inoue, S., Kunito, T., Minh, T. B., Tu, N. P. C., Ha, N. N., Trang, P. T. K., Viet, P. H. And Tanabe, S. (2010): Arsenic, manganese and barium contamination in groundwater and human in Vietnam. 1St International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, Ho Chi Minh City, Vietnam, March, Abstract CD, 145.
 46. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2010): Determination of brominated flame retardants in human scalp hair from mothers living in Payatas and Malate, the Philippines. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan,

- April, Abstract CD, 90017.
47. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riady, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Polybrominated diphenyl ethers in soils from various locations in Surabaya City, Indonesia: Dumping site and urban areas as important sources. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90019.
 48. Sudaryanto, A., Riyadi, A. S., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Isobe, T., Chang, K. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Bioaccumulation of brominated flame retardants (BFRs) in different trophic level organisms from Jakarta Bay, Indonesia. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90020.
 49. Asante, K. A., Nakahiro, K., Adu-Kumi, S., Takahashi, S., Isobe, T., Sudaryanto, A., Clarke, E., Dapaah-Siakwan, S., Ansa-Asare, O. D. and Tanabe, S. (2010): Spatial distribution, temporal variation and health risk assessment of brominated flame retardants in human breast milk from Ghana. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90038.
 50. Devanathan, G., Sudaryanto, A., Subramanian, An., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Chlorinated and brominated organic contaminants in human breast milk from different regions in India. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90055.
 51. Suzuki, G., Someya, M., Takahashi, S., Takigami, H., Sakai, S., Tanabe, S. (2010): Dioxin-like compounds in Japanese indoor dusts: brominated dibenzofurans strongly contribute to Dioxin-Like Activity evaluated by in vitro bioassay. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90062.
 52. Isobe, T., Toyoshima, S., Miller, T. W., Omori, K., Nishikawa, J., Chiba, S., Yamamura, O., Brodeur, R., Emmett, R., Dewar, H., Tanabe, S. (2010): Biomagnification pattern of PBDEs and HBCDs in eastern and western boundary current ecosystems of the North Pacific Ocean. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90072.
 53. Tue, N. M., Suzuki, G., Sudaryanto, A., Isobe, T., Takahashi, S., Minh, T. B., Trang, P. T. K., Viet, P. H., Zhang, G. and Tanabe, S. (2010): Human exposure to Brominated Flame Retardants and Dioxin-like Compounds in Vietnamese e-waste recycling sites. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90087.
 54. Minh, N. H., Minh, T. B., Isobe, T., Tanabe, S. (2010): Contamination of polybromodiphenylethers (PBDEs) in sewer system of Hochiminh City and estuary of Saigon-Dongnai River. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90139.
 55. Subramanian, An., Takahashi, S., Parthasarathy, P., Bulbule, K. A., Tanabe, S. (2010): Contamination associated with e-waste recycling in India. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90148.
 56. Takahashi, S., Isobe, T., Ramu, K., Kannan, K., Tanabe, S. (2010): Temporal Trends of Brominated Flame Retardants and Other Emerging POPs in Waters around East Asia: Retrospective Studies Using Archived Samples from es-Bank, Ehime University, Japan. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90156.
 57. Tanabe, S. (2010): Environmental and biotic contamination by legacy and new POPs in the Asia-Pacific region. Joint 2010 Jade Mountain Forum on Sustainable Environment and 3rd Joint Forum of Environmental Sciences, Tainan, Taiwan, April, Proceedings, II-1-II-15.

58. Suzuki, G., Tue, N.M., van der Linden, S., Someya, M., Takahashi, S., Brouwer, A., van der Burg, B., Lamoree, M., van Velzen, M. and Tanabe, S. (2010): Screening of potential bioaccumulative compounds exerting endocrine-disrupting activities in wild animals using in vitro bioassays and chemical fractionation. SETAC Europe, Seville, Spain, May, Program & Abstract, MO148.
59. Hayase, D., Toyoshima, S., Takahashi, S., Itai, T., Omori, K., Agusa, T., Nishida, S. and Tanabe, S. (2010): Trophic transfer of arsenic species in the deep-sea ecosystem in Sagami Bay, Japan. The Third International Congress on Arsenic in the Environment, Tainan, Taiwan, May, Abstract CD, A-38.
60. Sudaryanto, A., Ilyas, M., Soeyanto, E., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Assessment of persistent toxic substances in Jakarta Bay, Indonesia with special reference to brominated flame retardants and polychlorinated biphenyls. International Symposium on Ocean Science, Technology and Policy, Manado, North Sulawesi, Indonesia, May, Abstracts, Chapter V-B, 6-7.
61. Agusa, T., Fujihara, J., Takeshita, H., Tanabe, S., Iwata, H., Kunito, T., Minh, T. B., Trang, P. T. K. and Viet, P. H. (2010): Methylation of inorganic arsenic and genetic polymorphisms in arsenic (+III oxidation state) methyltransferase in a Vietnamese population. The Third International Congress on Arsenic in the Environment, Tainan, Taiwan, May, Proceedings, 329-331.
62. Tanabe, S. (2010): Spatial and temporal contamination by legacy and emerging POPs in the Asia-Pacific region. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, K-10.
63. Asante, K. A., Agusa, T., Kubota, R., Mochizuki, H., Ramu, K., Nishida, S., Ohta, S., Yeh, H. M., Takahashi, S., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2010): Biomagnification and vertical distribution of trace elements in fish from the Sulu Sea and the Celebes Sea. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, O-10.
64. Ono, J., Takahashi, D., Guo, X., Takahashi, S. and Takeoka, H. (2010): Modelling the dynamics of persistent organic pollutants in the East China Sea. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, O-37.
65. Takahashi, S., Malarvannan, G., Ikemoto, T., Isobe, T., Kunisue, T., Sudaryanto, A., Miyagi, T., Nakamura, M., Yasumura, S. and Tanabe, S. (2010): Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers and organochlorine compounds in sea turtles from Japan. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, O-70.
66. Sudaryanto, A., Riyadi, A. S., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Chang, K. H., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Trophodynamics of polychlorinated biphenyls in a tropical coastal food web from Jakarta Bay, Indonesia. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, O-138.
67. Devanathan, G., Subramanian, An., Babu, A., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Levels and spatial distribution of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in fishes collected from India. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, P-9.
68. Malarvannan, G., Takahashi, S., Ikemoto, T., Isobe, T., Kunisue, T., Sudaryanto, A., Miyagi, T., Nakamura, M., Yasumura, S. and Tanabe, S. (2010): Contamination status and spatial distribution of organochlorine compounds in fishes from Nansei Islands, Japan. 6th International Conference on Marine Pollution and Ecotoxicology, Hong Kong, China, June, Programme & Abstracts, P-133.

69. Takahashi, S., Ramu, K., Isobe, T., Toyoshima, S., Oshihoi, T., Chan, K. H., Ohmori, K., Kubodera, T., Nishida, S. and Tanabe, S. (2010): Distribution and bioaccumulation profiles of persistent toxic substances in deep-sea ecosystems around Japan. SETAC Asia/Pacific, Guangzhou, China, June, Program & Abstract, 60-61.
70. Devanathan, G., Subramanian, An., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Contamination status of organohalogen compounds in human breast milk from different locations in India. SETAC Asia/Pacific, Guangzhou, China, June, Program & Abstract, 164-165.
71. Sudaryanto, A., Ilyas, M., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Chang, K. H., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Environmental contamination and human exposure to brominated flame retardants in Indonesia. SETAC Asia/Pacific, Guangzhou, China, June, Program & Abstract, 169-170.
72. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2010): Contamination by brominated flame retardants in human breast milk in relation to levels in meat products and house dust from the Philippines. SETAC Asia/Pacific, Guangzhou, China, June, Program & Abstract, 181.
73. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I., Riyadi, A., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Contamination status of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in fish and shellfish collected from coastal waters of Surabaya City, Indonesia. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1067.
74. Devanathan, G., Babu, R., Sudaryanto, A., Isobe, T., Asante, K., Subramanian, An., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Assessment of human exposure to polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in India. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1066.
75. Someya, M., Suzuki, G., Watanabe, M., Subramanian, An., Zheng G., Lam, P., Prudente, M., Zakaria, M., Viet, P., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Identification of dioxin related compounds by combined in vitro bioassay/chemical analysis monitoring study for Asian coastal waters using bivalves as bioindicators. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1335.
76. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2010): Brominated flame retardants in human breast milk and house dust from the Philippines: implications for human exposure. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID1676.
77. Eguchi, A., Nomiya, K., Subramanian, An., Parthasarathy, P., Blubule, K., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Accumulation features of anthropogenic and naturally produced organohalogen compounds in human serum from Indian e-waste recycling workers and residents near coastal areas. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1334.
78. Tue, N. M., Suzuki, G., Takahashi, S., Isobe, T., Trang, P., Viet, P. and Tanabe, S. (2010): Dioxin-related compounds in house dust from Vietnamese e-waste recycling sites: comparison of in vitro bioassay- and chemical analysis-derived toxic equivalents. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1348.

79. Nguyen, A. T., Minh, T., Hoai, P., Viet, P., Tuyen, B., Son, L., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Brominated flame retardants in Vietnam: a concise review of recent contamination. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1346.
80. Sudaryanto, A., Riyadi, A., Setiawan, I., Ilyas, M., Isobe, T., Takahashi, S., and Tanabe, S. (2010): Concentrations of PBDEs, HBCDs and two novel BFRs in atmosphere derived by passive air sampler from various locations in and around Jakarta. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1231.
81. Suzuki, G., Tue, N., van der Lindon, S., Someya, M., Takahashi, S., Brouwer, A., van den Burg, B., Lamoree, M., van Velzen, M., Isobe, T. and Tanabe, S (2010): Evaluation of potential bioaccumulative compounds exerting endocrine-disrupting activities in wild animals using in vitro bioassays and chemical fractionation. 30th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2010), San Antonio, Texas, USA, September, Abstract Book, ID 1309.
82. Ono, J., Takahashi, D., Guo, X., Takahashi, S., and Takeoka, H. (2010): Process study on the dynamics of persistent organic pollutants in the East China Sea. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 35.
83. Sudaryanto, A., Riyadi, A. S., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Chang, K. H., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Comparative study on the trophodynamics of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in biota from Jakarta Bay, Indonesia. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 47.
84. Ramaswamy, B. R., Kim, J. W., Isobe, T., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. W., Subramanian, An., Maneja, R., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2010): Determination of antimicrobial and preservative compounds in fish from Manila Bay, the Philippines by UFLC-MS-MS. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 50.
85. Nakashima, E., Isobe, A., Kako, S., Magome, S., Deki, N., Itai, T. and Takahashi, S. (2010): Balloon aerial photography to measure the total marine litter weight over a beach and its quantification of heavy metals carried by plastic litter. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 52.
86. Kim, J. W., Isobe, T., Ramaswamy, B. G., Chang, K. H., Amano, A., Miller, T. W., Maneja, R., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2010): Contamination by organophosphorus flame retardants in fishes from Manila Bay, the Philippines. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 57.
87. Ogawa, S. P., Isobe, T., Ramu, K., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2010): Monitoring of contamination of non-PBDE brominated flame retardants in Asian coastal waters using mussels as a bioindicator. The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 70.
88. Yasuda, Y., Hirata, S., Isobe, T., Itai, T., Yamamoto, T., Tajima, Y., Yamada, T. K., Amano, M.,

- Miyazaki, N., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Accumulation features and temporal trends of trace elements in striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*). The 5th Global COE International Symposium on Modeling Analysis of Marine Environmental Problems (MAMEP 2010), Matsuyama, Japan, September, Program and Abstracts, 81.
89. Tanabe, S. (2010): Contamination by legacy and emerging POPs in the Asia-Pacific region. 2010 Forum on Fishery Science and Technology, Wuxi, China, October, Abstracts, 3.
90. Subramanian, An. and Tanabe, S. (2010): Monitoring organohalogen compounds in human milk from developing countries using the samples archived in the environmental specimen bank (es-BANK) of Ehime University, Japan. International Conference for Environmental Specimen Bank, Berlin, Germany, November, Abstracts, 8.
91. Tanabe, S. (2010): Monitoring studies on the contamination of brominated flame retardants in eastern Asian waters using archived samples from es-BANK, Ehime University, Japan. International Conference for Environmental Specimen Bank, Berlin, Germany, November, Abstracts, 14.
92. Kim, J. W., Isobe, T., Rajendran, R. B., Chang, K. H., Amano, A. and Tanabe, S. (2010): Analysis of benzotriazole ultraviolet stabilizers in fishes from the Philippines using an UFLC-MS/MS: The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, Seoul, Korea, November, Abstract Book, 147.
93. Kim, J. W., Isobe, T., Rajendran, R. B., Chang, K. H., Amano, A. and Tanabe, S. (2010): Contamination and bioaccumulation of organophosphorus flame retardants and plasticizers in marine fishes from the Philippines: The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, Seoul, Korea, November, Abstract Book, 242.
94. Isobe, T., Ogawa, S. P., Ramu, K., Takahashi, S., Subramanian, A. and Tanabe, S. (2010): Monitoring of contamination by non-PBDE brominated flame retardants in Asian coastal waters using mussels as bioindicators: The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, Seoul, Korea, November, Abstract Book, 248.
95. Muto, M., Isobe, T., Ramu, K., Tue, N. M., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Contamination of brominated flame retardants (BFRs) in human hair from Vietnam. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 255.
96. Kunisue, T., Kannan, K. and Tanabe, S. (2010): Phytoestrogens in human urine from several Asian countries. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 259.
97. Eguchi, A., Nomiya, K., Subramanian, A., Parthasarathy, P., Bulbule, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Serum concentrations of brominated phenolic compounds from Indian e-waste recycling workers and population near coastal area. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 278.
98. Ha, N. N., Agusa, T., Horai, S. H., Itai, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Soil and air particle contamination by trace elements at e-waste recycling sites in North Vietnam: Implying human health risk. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 294.
99. Itai, T., Noguchi, T., Kawaguchi, M., Murakami, Y., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): A micro SXRF study for applicability of human hair as a bio-indicator of trace elements exposure. SETAC

- (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 302-303.
100. Horai, S. H., Yasuda, Y., Urakami, S., Isobe, T., Yamada, T. K., Tajima, Y., Amano, M., Miyazaki, N. and Tanabe, S. (2010): Contamination status and temporal trends of Hg and other trace elements in melon-headed whale and striped dolphin. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 303.
 101. Noguchi, T., Itai, T., Hirata, S., Agusa, T., Nguyen, T. M., Pham, T. K., Pham, V. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2010): Human exposure to toxic metals in Pb acid battery recycling site in Dong Mai, North Vietnam. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 303.
 102. Kim, J. W., Isobe, T., Ramaswamy, B., Kwang-Hyeon, C., Miller, T. W., Atsuko, A., Rommel, M., Fernando, S. and Tanabe, S. (2010): Occurrence of benzotriazole-based UV stabilizers in fishes from Manila Bay, the Philippines. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 306.
 103. Ramaswamy, B., Isobe, T., Joon-Woo, K., Kwang-Hyeon, C., Miller, T. W., Rommel, M., Fernando, S. and Tanabe, S. (2010): Occurrence of triclosan, Triclocarban and parabens in fish from Manila Bay, the Philippines. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) 31st Annual Meeting in North America, Portland, Oregon, USA., November, Abstracts, 306-307.
 104. Takahashi, S., Tue, N. M. and Tanabe, S. (2010): Present status of contamination by emerging POPs and dioxin related compounds in Asia-Pacific region. 4th Workshop on Reduction of Unintentional POPs in East Asian Countries, Tokyo, Japan, December, Abstracts, Session II-7.
 105. Takahashi, S., Tue, N. M. and Tanabe, S. (2011): Lessons and status of dioxins and emerging POPs in Japan and Asian countries including Vietnam. Workshop on Dioxin and Organohalogen Contamination from Agent Orange and Unintentional Production in Vietnam. Ha Long, Vietnam, January, Abstracts, 349-380.
 106. Agusa, T., Kunito, T., Fujihara, J., Takeshita, H., Minh, T. B., Trang, P. K., Viet, P. H., Tanabe, S. and Iwata, H. (2011): Association of arsenic exposure and genetic polymorphisms with arsenic metabolism in a Vietnamese population. Society of Toxicology 50th Anniversary Annual Meeting and ToxExpoTM, Washington, D. C., USA, March, Program, 423-424.
 107. Tue, N. M., Suzuki, G., Isobe, T., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Human exposure to brominated flame retardants and dioxin-related compounds in Vietnamese e-waste recycling sites. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 21.
 108. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riady, A. S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2011): Bioaccumulation pattern of polychlorinated biphenyls in wild fish and human breast milk from coastal areas of highly industrialized city of Surabaya, Indonesia. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 59.
 109. Sudaryanto, A., Riady, A. S., Ilyas, M., Setiawan, I. E., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 60.

110. Eguchi, A., Nomiyama, K., Devanathan, G., Subramanian, An., Viet, P. H., Parthasarathy, P., Bulbule, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) and their hydroxylated metabolites in human serum from Asian countries. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 61.
111. Devanathan, G., Isobe, T., Subramanian, An., Asante, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Present status of contamination by industrial chemicals (PCBs, PBDEs and HBCDs) in India. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 63.
112. Kim, J. W., Isobe, T., Malarvannan, G., Sudaryanto, A., Chang, K. W., Prudente, M. and Tanabe, S. (2011): Benzotriazole UV stabilizers in indoor dust from two towns in the Philippines: implications on human exposure assessment. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 67.
113. Riyadi, A. S., Itai, T., Isobe, T., Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, J. E. and Tanabe, S. (2011): Vertical profile of trace elements in marine sediments from Jakarta Bay, Indonesia. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 70.
114. Someya, M., Suzuki, G., Watanabe, M., Subramanian, An., Takahashi, S., Takigami, H. and Tanabe, S. (2011): Identification and toxicity evaluation of dioxin related compounds by combined in vitro bioassay/chemical analysis: monitoring study for Asian coastal waters using bivalves as bioindicators. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 71.
115. Asante, K. A., Takahashi, S., Isobe, T., Devanathan, G., Kumi, S. A., Itai, T. and Tanabe, S. (2011): An overview of organohalogen contamination in Ghana. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 83.
116. Muto, M., Isobe, T., Ramu, K., Tue, N. M., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Contamination of brominated flame retardants (BFRs) in human hair from e-waste recycling site in Vietnam. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 84.
117. Otsuka, M., Itai, T., Asante, K. A., Muto, M. and Tanabe, S. (2011): Process trace element contamination around the e-waste recycling site at Agbogbloshie, Accra city, Ghana. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 85.
118. Ha, N. N., Agusa, T., Tu, N. P. C., Itai, T., Takahashi, S., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2011): Evaluation of human health risk related to soil contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 87.
119. Hien, P. T., Tue, N. M., Suzuki, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in sediments of Tam Giang-Cau Hai Lagoon, central Vietnam.

- The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 88.
120. Noguchi, T., Itai, T., Ha, N. N., Tue, N. M., Agusa, T., Hirata, S., Trang, P. T. K., Viet, P. H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Human exposure to Pb and Sb in a lead acid battery recycling site in Dong Mai, north Vietnam. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 91.
 121. Isobe, T., Kim, J. W., Tue, N. M., Misaki, K., Takahashi, S., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2011): Determination of perfluoroalkyl compounds in aqueous samples from Vietnam. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 92.
 122. Yasuda, Y., Hirata, S., Itai, T., Isobe, T., Matsuishi, T., Yamada, T. K., Tajima, Y., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): A comparative study on temporal trends of trace elements in harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) from coastal waters of north Japan and other cetaceans in the open sea. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 94.
 123. Agusa, T., Kunito, T., Inoue, S., Kubota, R., Minh, T. B., Tue, N. M., Ha, N. N., Tu, N. P. C., Fujihara, J., Charaborty, P., Chamnan, C., Trang, P. T. K., Reungsang, A., Srisuk, K., Nakamura, S., Takizawa, S., Takeshita, H., Takahashi, S., Subramanian, An., Tuyen, B. C., Viet, P. H., Tana, T. S., Tanabe, S. and Iwata, H. (2011): Exposure, metabolism, and toxic effects of arsenic in residents from arsenic-contaminated groundwater areas of southeast Asia. The 6th Global COE International Symposium on Advanced Studies by Young Scientists on Environmental Pollution and Ecotoxicology, Matsuyama, Japan, August, Abstract Book, 104.
 124. Malarvannan, G., Isobe, T., Covaci, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2011): Brominated flame retardants in food samples collected from the Philippines. 31st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 1609.
 125. Viet, P. H., Tue, N. M., Takahashi, S., Suzuki, G., Isobe, T., Trang, P. T. K. and Tanabe, S. (2011): Human exposure to brominated flame retardants and dioxin-related compounds in Vietnamese e-waste recycling sites. 31st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 1610.
 126. Hien, P. T., Tue, N. M., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Measurement of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in fish collected from Tam Giang-Cau Hai Lagoon, Vietnam. 31st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 1920.
 127. Asante, K. A., Takahashi, S., Itai, T., Isobe, T., Devanathan, G., Dapaah-Siakwan, S., Agyakwah, S. K., Tanabe, S. (2011): Assessment of human exposure to PCBs and BFRs through fish consumption in Ghana. 31st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 1929.
 128. Devanathan, G., Subramanian, An., Isobe, T., Kajiwara, N., Suzuki, G., Asante, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Organohalogen contaminants in dust samples from different indoor environments in India: implications on human exposure. 31st International Symposium on

- Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 2603.
129. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in human breast milk from mothers living in coastal area of Surabaya city, Indonesia. 31st International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (DIOXIN 2011), Brussels, Belgium, August, Abstract Book, ID 3708.
 130. Takahashi, S., Tanabe, S., Tue, N. M., Ha, N. N., Noguchi, T. and Viet, P. H. (2011): Status of contamination and risk assessment of toxic substances released from e-waste recycling activities: a case study in Vietnam. International Workshop on 3R and Waste Management 2011, Kita-Kyushu, September, Programs.
 131. Isobe, T., Ogawa, S. P., Ramu, K. and Tanabe, S. (2011): Geographical distribution of non-PBDE type brominated flame retardants in mussels from Asian coastal waters. 13th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment, ETH Zurich, Switzerland, September, Abstracts, 172.
 132. Kim, J. W., Isobe, T., Malarvannan, G., Chang, K. H., Sudaryanto, A., Purudente, M. and Tanabe, S. (2011): Occurrence of organophosphorus compounds in house dust collected from Malate and Payatas in the Philippines and human exposure assessment. 13th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment, ETH Zurich, Switzerland, September, Abstracts, 178.
 133. Subramanian, An. and Tanabe, S. (2011): Contamination by persistent organic pollutants in the Asia-Pacific region. PICES-2011 (North Pacific Marine Science Organization), Khabarovsk, Russia, October, Program and Abstracts, 220.
 134. Asante, K. A., Agusa, T., Biney, C. A., Agyekum, W. A., Bello, M., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Trace element contamination in e-waste recycling workers from Accra in Ghana. IX ISTERH (International Society for Trace Element Research in Humans) Conference on Trace Elements in Health and Disease: Essentiality, Toxicity, Belek, Turkey, October, Abstracts, 5.
 135. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riady, A. S., Hyeon, C. K., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Trophodynamics of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in coastal waters food web from Surabaya City, Indonesia. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 27.
 136. Devanathan, G., Isobe, T., Subramanian, An., Kajiwara, N., Asante, K. A., Suzuki, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Legacy and novel brominated flame retardants in indoor dust from India: characteristics and implications. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 41.
 137. Asante, K. A., Takahashi, S., Isobe, T., Itai, T., Ansa Asare, O. D., Adu Kumi, S. and Tanabe, S. (2011): Assessment of human exposure to chlorinated and brominated compounds in Ghana. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 85.
 138. Eguchi, A., Nomiyama, K., Devanathan, G., Viet, P. H., Subramanian, An., Parthasarathy, P., Bulbule, K. A., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Distribution of PCBs and their hydroxylated metabolites in human serum from Asian countries. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book,

- 105-106.
139. Hirata, S. H., Komori, K., Horiuchi, F., Noguchi, T., Itai, T., Takahashi, S., Viet, P. H., Khanh, L. and Tanabe, S. (2011): Human contamination status and health effects of Pb in lead battery-recycle area, Vietnam. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 156
 140. Kim, J., Isobe, T., Chang, K., Sudaryanto, A., Prudente, M. and Tanabe, S. (2011): Occurrence and profiles of benzotriazole UV stabilizers in house dust from the Philippines. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 201.
 141. Subramanian, An., Devanathan, G., Ha, N., Eguchi, A., Nomiyama, K., Itai, T., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Occurrence and contribution to global contamination by organohalogen and trace elements from India. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 242.
 142. Otsuka, M., Itai, T., Asante, K. A., Muto, M. and Tanabe, S. (2011): Trace element contamination around the e-waste recycling site at Agbogbloshie, Accra City, Ghana. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 32nd Annual Meeting, Boston, Massachusetts, USA, November, Abstract Book, 290.
 143. Takahashi, S., Kannan, K. and Tanabe, S. (2011): POPs and its related compounds in Asia-Pacific Region: legacy and emerging issues. GCOE Seminar on Water and Environment in Asian Mega Cities, Kyoto, Japan, November, Proceedings, 11-20.
 144. Isobe, T., Sudaryanto, A., Ramu, K. and Tanabe, S. (2012): Introduction of environmental specimen bank (es-BANK) at Ehime University - advantage of archived samples for investigation on spatial and temporal trends of environmental contaminants -. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 2.
 145. Sudaryanto, A., Isobe, T. and Tanabe, S. (2012): Environmental contaminants and human exposure to POPs in Indonesia: a case study for BFRs and PCBs. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 4.
 146. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2012): Bioaccumulation of halogenated organic compounds (HOCs) in aquatic biota from coastal waters of Surabaya, Indonesia. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 5.
 147. Itai, T., Noguchi, T., Tue, N. M., Agusa, T., Horai, S., Viet, P. H., Trang, P. T. K., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Human exposure to toxic metals in lead acid battery recycling site in Dong Mai, north Vietnam. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 10.
 148. Riyadi, A. S., Itai, T., Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2012): Vertical and spatial distribution of trace elements in marine sediments from Jakarta Bay. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible

- Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 16.
149. Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Riyadi, A. S., Chang, K. H., Isobe, T. and Tanabe, S. (2012): Trophodynamic accumulations of persistent organic pollutants (POPs) in biota from Jakarta Bay, Indonesia: classical POPs (polychlorinated biphenyls) versus new POPs (brominated flame retardants). The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 19.
150. Setiawan, I. E., Sudaryanto, A., Isobe, T., Hartono, P., Muawanah and Tanabe, S. (2012): Levels of persistent organic pollutants (POPs) in farmed tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) from Lampung ariculture area. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 20.
151. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2012): Bioaccumulation patterns of polychlorinated biphenyls in wild fish and human breast milk from coastal areas of the highly industrialized city of Surabaya, Indonesia. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 21.
152. Isobe, T., Kim, J. W., Muto, M., Sudaryanto, A., Malarvannan, G., Prudente, M. and Tanabe, S. (2012): Benzotriazol ultraviolet stabilizers in house dust from residential and dumping areas in the Philippines: implications for human exposure. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 28.
153. Kim, J. W., Isobe, T., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2012): Fish contamination and human exposure to benzotriazole ultraviolet stabilizers in Manila Bay, the Philippines. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 29.
154. Muto, M., Kim, J. W., Isobe, T., Sudaryanto, A., Malarvannan, G., Prudente, M. and Tanabe, S. (2012): Occurrence of organophosphorus flame retardants in house dust from Philippines and implication for human exposure. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 30.
155. Kim, J. W., Isobe, T., Siringan, F. P. and Tanabe, S. (2012): Bioaccumulation of organophosphorus flame retardants in fishes at different trophic levels from Manila Bay, the Philippines. The First Joint Workshop on POPs & Heavy Metals Pollution in Indonesia, Looking at Possible Establishment of Networking for Monitoring System, Jakarta, Indonesia, March, Abstract Book, 31.
156. Hirai, Y.; Eguchi, T.; Sakai, S. (2010) "Development of environmental fate model for hexabromocyclododecanes(HBCDS) with isomerisation process." *Organohalogen Compounds*, 72:
157. Kuramochi, H.; Sakai, S. (2010) "Measurement of vapor pressures of some PBDEs and HBCD diastereoisomers." Presented at BFR2010, Kyoto, April 7, 2010
158. Aizawa, H.; Hirai, Y.; Sakai, S. (2010) "Development of Japanese Recycling Policy for Electric Home Appliances by the Addition of Plastics Recycling." Presented at BFR2010, Kyoto, April 7, 2010
159. Ota, S.; Kondo, Y.; Miyazaki, T.; Takigami, H.; Hirai, Y.; Sakai, S. (2010) "The Releases of

- PBDD/DFs from the Flame-retarded Textile Manufacturing Facilities." Presented at BFR2010, Kyoto, April 7, 2010
160. Hirai, Y.; Eguchi, T.; Sakai, S. (2010) "Development of Environmental Fate Model for Hexabromocyclododecanes (HBCDs) with Isomerisation Process." Presented at BFR2010, Kyoto, April 7, 2010
 161. Yamamoto, M., Koikeguchi, K., Yamamoto, G., Yamaguchi, N., Ohtsuka, K., Sakai, S.: Air emission factors and emission inventory of HCB, PCB, and pentachlorobenzene, *Organohalogen Compounds*, Vol.73,0802 (2011)
 162. Sakai, S., Takiguchi, H., Toyama, Y., Gang, Yu.: An integrated PCDD/DFs inventory for East Asian countries, *Organohalogen Compounds*, Vol.73, 5004 (2011)
 163. Kuramochi, H., Takigami, H., Sakai, S.: Physicochemical properties of aromatic phosphate esters and their persistence and long-range transportation potential, *Organohalogen Compounds*, Vol.73, 3104 (2011)
 164. Hirai, Y., Sakai, S., Matsuda, Y.: Biomass fraction of municipal solid waste determined by ¹⁴C method, the proceedings of the Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, pp. 265-266 (2011)
 165. Asari, M., Ri, Y., Sakai, S.: Lead Contained in Plastic Shopping Bags and their Reduction in Japan, *Proceedings of 2011 World Congress of International Solid Waste Association (ISWA)*, pp.286-292 (2011)
 166. Sakai, S., Asari, M., Yoshioka, T., Osako, M., Takigami, H.: Disaster Waste Management in Japan, *Proceedings of 2011 World Congress of International Solid Waste Association (ISWA)*, pp.172-181 (2011)
 167. Bastian, L., Hirai, Y., Yano, J., Sakai, S.: Scenario Analysis of Biogenic Waste Management for Climate Change Mitigation: Case Studies in Surabaya and Kyoto, *Proceedings of 2011 World Congress of International Solid Waste Association (ISWA)*, pp.157-167 (2011)
 168. Yano, J., Hirai, Y., Sakai, S.: Greenhouse Gas Reduction Focused on Utilization and Treatment of Biomass-based Plastics in Household Waste, *Proceedings of 2011 World Congress of International Solid Waste Association (ISWA)*, pp.301-311 (2011)
 169. Yano, J., Asari, M., Hirai, Y., Sakai, S.: The Use of Renewable Energy from Waste Forest Thinning and Solar Heating for an Air Conditioning System at Kyoto University, *The 10th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands (SWAPI)*, pp.133-140 (2012)
 170. Bastian, L., Hirai, Y., Yano, J., Sakai, S.: Impact of soil cover on PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in open dumping sites, *The 10th Expert Meeting on Solid Waste Management in Asia and Pacific Islands (SWAPI)*, pp.245-252 (2012)

5) 学会発表 (国内)

1. 小瀬知洋, 滝上英孝, 酒井伸一: モデルルームを用いた製品負荷試験における難燃剤の室内放散と制御, 第18回環境化学討論会 (つくば, 2009/06) 同講演要旨集, 280-281.
2. 滝上英孝 (2010): 有機臭素系難燃剤の製品ライフサイクルを通じたリスク評価と管理, 平成22年度土木学会環境工学委員会研究ワークショップ「環境工学の新しいチャレンジ: 有害物質管理の最前線」, 東京, 4月

3. Suzuki, G., Someya, M., Takahashi, S., Takigami, H., Sakai, S., Tanabe, S. (2010): Dioxin-like compounds in Japanese indoor dusts: brominated dibenzofurans strongly contribute to Dioxin-Like Activity evaluated by in vitro bioassay. 5th International Symposium on Brominated Flame Retardants, Kyoto, Japan, April, Abstract CD, 90062.
4. 鈴木 剛・染矢雅之・高橋 真・滝上英孝・酒井伸一・田辺信介 (2010): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物の毒性同定評価, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 364-365.
5. 滝上英孝, 今井裕恵 (2010) : ヒト皮膚モデルを用いたハウスダストの毒性評価, 東京, 12 月, 日本内分泌攪乱化学物質学会 第 13 回研究発表会要旨集, 107.
6. 鈴木 剛・滝上英孝・酒井伸一 (2011) : 室内での製品使用を通じた化学物質リスクの検索同定と評価～ハウスダストに着目した研究展開～, 第 14 回水環境学会シンポジウム, 仙台, 9 月, 講演要旨集, 17-18.
7. 滝上 英孝, BFR のライフサイクルを通じた環境影響とその管理について(研究サイドから), 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会廃棄物資源循環学会物質フロー研究部会 (東京, 2011/11)
8. 滝上 英孝, 製品ライフサイクルにおける化学物質リスクの評価と管理について, 化学物質の安全管理に関するシンポジウムー新しい化学物質等のリスク問題へのアプローチ (東京, 2012/02)
9. 滝上英孝・梶原夏子・鈴木 剛・染矢雅之・酒井伸一 (2012): 製品ライフサイクルにおける臭素化ダイオキシン類の挙動と制御, 臭素系ダイオキシンに係る環境省ワークショップ, 東京, 2 月.
10. 滝上英孝, 今井裕恵 (2010) : ヒト皮膚モデルを用いたハウスダストの毒性評価, 東京, 12 月, 日本内分泌攪乱化学物質学会 第 13 回研究発表会要旨集, 107.
11. 小池英子, 柳澤利枝, 高野裕久 (2010) 臭素系難燃剤がマウス免疫担当細胞に及ぼす影響. 第 17 回日本免疫毒性学会学術大会, 同講演要旨集, 88
12. Sudaryanto, A., Isobe, T., Ilyas, M., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Brominated flame retardants in fish from Southeast Asian countries, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6 月, 講演要旨集, 136-137.
13. Malarvannan, G., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M. and Tanabe, S. (2009): Contamination by persistent organohalogens in the Philippines environment, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6 月, 講演要旨集, 138-139.
14. Takahashi, S., Ramu, K., Isobe, T., Ha, N. N., Agusa, T., Zhang, G., Parthasaraty, P., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2009): Human and environmental contamination by persistent toxic substances in E-Waste recycling sites in India, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6 月, 講演要旨集, 140-141.
15. Tue, N. M., Sudaryanto, A., Suzuki, G., Isobe, T., Takahashi, S., Viet, P. H. and Tanabe, S. (2009): Human exposure to brominated flame retardants in Vietnamese E-Waste recycling site, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6 月, 講演要旨集, 142-143.
16. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・竹下治男・田辺信介 (2009): ベトナム人のヒ素曝露とその代謝遺伝子多型, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6 月, 講演要旨集, 222-223.
17. 松神秀徳・中村明広・大井悦雅・高橋 真・磯部友彦・田辺信介・高菅卓三 (2009): 海棲哺乳類中の塩素化パラフィンの GC-HRMS(NCI)及び LC-MS/MS による分析, 第 18 回環境化学

- 討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 232-233.
18. 江口哲史・磯部友彦・Subramanian, An.・Sudaryanto, A.・Ramu, K.・Minh, T. B.・Chakraborty, P.・Minh, N. H.・Viet, P. H.・Setiawan, I. E.・Riyadi, A. S.・Tana, T. S.・高橋 真・田辺信介 (2009): アジア都市ごみ集積場における臭素系難燃剤(BFRs)の汚染実態, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 266-267.
 19. 清水潤子・當重 弘・高橋 真・磯部友彦・田辺信介・藤井磁穂・田中周平・クナチワ, チナガン・松村 徹・深海 稔・内田圭祐 (2009): 東シナ海の海水・海底堆積物における POPs 汚染の現状(2008 年調査結果), 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 330-331.
 20. 小川翔平・Ramu, K.・磯部友彦・高橋 真・田辺信介 (2009): イガイを用いたアジア沿岸域の HBCDs 汚染モニタリング, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 514-515.
 21. 早瀬大祐・豊島沙織・宝来佐和子・磯部友彦・Miller, T. W.・高橋 真・大森浩二・田辺信介 (2009): 太平洋沿岸域の食物網における微量元素の動態, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 756-757.
 22. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Soeyanto, E., Setiawan, I. E., Riadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Levels, distribution, and profiles of polychlorinated biphenyls (PCBs) in surface sediments collected from Surabaya coastal waters, Indonesia, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 856-857.
 23. Devanathan, G., Sudaryanto, A., Subramanian, An., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Brominated flame retardants in human breast milk collected from different locations in India, 第 18 回環境化学討論会, つくば市, 6月, 講演要旨集, 858-859..
 24. 磯部友彦・Ramu, K.・田辺信介 (2009): 生物環境試料バンクの活用研究: 臭素系難燃剤による鯨類汚染の歴史トレンド解析, 日本セトロジー研究会第 20 回北九州大会, 北九州市, 6月, 発表要旨集, 15.
 25. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・竹下治男・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・田辺信介 (2009): ベトナム人における GST スーパーファミリーの遺伝子多型と尿中ヒ素化合物プロファイルの関係. 第 20 回日本微量元素学会, 東京, 7月, プログラム・抄録集, 163.
 26. 磯部友彦・Agus Sudaryanto・Karri Ramu・田辺 信介 (2009): 臭素系難燃剤の生物濃縮とヒトへの曝露評価, 第 12 回日本水環境学会シンポジウム, 東京, 9月, 講演要旨集, 212.
 27. 野口貴子・板井啓明・宝来佐和子・Tue, N. M.・高橋 真・阿草哲郎・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・Minh, N. H.・田辺信介 (2009): ベトナム e-waste リサイクル処理現場におけるヒトの微量元素曝露の実態, 第 15 回日本環境毒性学会・バイオアッセイ研究会合同研究発表会, 東京, 10月, 講演要旨集, 11-12.
 28. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・Minh, T. B.・Trang, P. H.・Viet, P. H.・竹下治男・田辺信介 (2009): ベトナム人における AS3MT 遺伝子多型とヒ素代謝能の関係, 日本 DNA 多型学会 18 回学術集会, 久留米市, 11月, 要旨集, 29.
 29. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・Minh, T. B.・Trang, P. H.・Viet, P. H.・竹下治男・田辺信介 (2009): ベトナムのヒ素汚染地域住民における AS3MT 遺伝子多型とヒ素代謝の関係, 第 15 回ヒ素シンポジウム, 大阪市, 11月, 要旨集, 52.
 30. Takahashi, S., Isobe, T. and Tanabe, S. (2010): Persistent organic pollutants in marine ecosystems around Japan: its distribution, biomagnifications and fate. Joint Symposium of Young Scientists in Ehime University and National Institute for Environmental Studies, Matsuyama, Japan, January, Abstract, 10.

31. 平田佐和子 (2010): スジイルカを指標生物とした微量元素の広域汚染実態の解明と経年変動解析, 平成 21 年度グローバル COE プログラム研究成果報告会, 松山市, 3 月, 要旨集, 34.
32. 田辺信介 (2010): 生物環境試料バンクを活用した微量元素汚染の実態と歴史トレンドの解明-カズハゴンドウを指標生物として-, 平成21年度グローバルCOEプログラム研究成果報告会, 松山市, 3 月, 要旨集, 44.
33. 染矢雅之・鈴木 剛・渡部真文・高橋 真・田辺信介(2010): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による未同定ダイオキシン類縁化合物の検索—二枚貝を用いたアジア沿岸域の汚染モニタリング, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 44-45.
34. 小川翔平・磯部友彦・Karri Ramu・田辺信介 (2010): イガイを指標生物として用いたアジア沿岸域におけるハロゲン化難燃剤の汚染モニタリング, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 164-165.
35. 鈴木 剛・Tue, N. M.・Linden, S.・Brouwer, A.・Burg, B.・Lamoree, M.・Velzen, M.・高橋 真・染矢雅之・磯部友彦・田島木綿子・山田 格・田辺信介 (2010): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による野生高等動物に蓄積する抗アンドロゲン作用物質の毒性同定評価, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 186-187.
36. 中島悦子・磯辺篤彦・加古真一郎・馬込伸哉・板井啓明・高橋 真 (2010): 長崎県五島列島における漂着ゴミと化学汚染, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 222-223.
37. 平田佐和子・浦上 真・安田悠佑・磯部友彦・山田 格・田島木綿子・天野雅男・宮崎信之・高橋 真・田辺信介 (2010): カズハゴンドウ(*Peponocephala electra*)の微量元素蓄積特性と経年変動解析, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 228-229.
38. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・竹下治男・田辺信介 (2010): ベトナム人のヒ素代謝プロファイルと GST 遺伝子多型の関係: ヒ素暴露レベルの影響, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 236-237.
39. 野口貴子・板井啓明・平田佐和子・Tue, N. M.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・高橋 真・田辺信介 (2010): ベトナム鉛バッテリー処理施設におけるヒトへの微量元素暴露の実態, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 238-239.
40. 江口哲史・野見山 桂・Subramanian, An.・Bulbule, K. A.・Parthasaraty, P.・高橋 真・田辺信介 (2010): インドの電気電子機器廃棄物(E-waste)解体工場における作業労働者血清から検出された PCBs, PBDEs および代謝物の残留特性, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 242-243.
41. 清水潤子・高橋 真・山尾 理・田中周平・藤井滋穂・クナチワ チナガン・田辺信介・内田圭祐 (2010): 東シナ海における POPs 汚染の現状—2009 年調査結果, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 258-259.
42. 板井啓明・高橋嘉夫・石橋拓也・田辺信介 (2010): ベンガル平野の地下水ヒ素汚染機構の新しい解析法—帯水層中のヒ素は除去できるか?—, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 316-317.
43. 鈴木 剛・染矢雅之・高橋 真・滝上英孝・酒井伸一・田辺信介 (2010): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による室内ダスト中ダイオキシン類縁化合物の毒性同定評価, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 364-365.
44. 武藤 衛・磯部友彦・Ramu, K.・Tue, N. M.・Viet, P. H.・高橋 真・田辺信介 (2010): 臭素系難燃剤(BFRs)によるベトナム人の汚染—毛髪を用いたモニタリング—, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 400-401.

45. 金 俊佑・磯部友彦・張 光玄・田辺信介 (2010): LC-MS/MS による水試料及び野生生物の紫外線吸収剤及び有機リン系難燃剤の多成分一斉分析法—河川水、下水処理放流水および野生生物試料について—, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 538-539.
46. 中田晴彦・篠原竜一・中澤優介・渡部真文・磯部友彦・田辺信介 (2010): イガイを用いた環太平洋域の PPCPs 汚染モニタリング, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 562-563.
47. 安田悠佑・平田佐和子・磯部友彦・板井啓明・山本貴士・田島木綿子・山田 格・天野雅男・宮崎信之・高橋 真・田辺信介 (2010): スジイルカ(*Stenella coeruleoalba*)における微量元素の蓄積特性と経年変動, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 820-821.
48. 野口貴子・板井啓明・川口将史・村上安則・高橋 真・田辺信介 (2010): 微量元素暴露指標としてのヒト毛髪の有効性と限界に関する評価, 第 19 回環境化学討論会, 春日井市, 6 月, 講演要旨集, 822-823.
49. 阿草哲郎・岩田久人・藤原純子・國頭 恭・竹下治男・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・田辺信介 (2010): ベトナムのヒ素汚染地域住民におけるヒ素代謝に関する要因, 第 21 回日本微量元素学会, 京都, 7 月, プログラム・抄録集, 137.
50. 染矢雅之・鈴木 剛・渡部真文・Subramanian, An.・高橋 真・田辺信介 (2010): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法を用いたアジア沿岸域イガイのダイオキシン類縁化合物毒性評価—ダイオキシン活性に寄与する未同定化合物の検索, 第 16 回バイオアッセイ研究会・日本環境毒性学会, つくば市, 9 月, 講演要旨集, P-18.
51. 金 俊佑・磯部友彦・Rajendran, R. B.・張 光玄・田辺信介 (2010): フィリピンのマニラ湾の魚類におけるベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤汚染, 第 13 回日本水環境学会シンポジウム, 京都市, 9 月, 講演要旨集, 241.
52. 田辺信介 (2011): POPs による生物汚染の実態, 第 28 回日本医学会総会, 東京, 4 月, 学術講演要旨, 410.
53. 染矢雅之・鈴木 剛・渡部真文・Subramanian, An.・高橋 真・滝上英孝・田辺信介 (2011): In vitro バイオアッセイ/化学分析統合手法による未同定ダイオキシン類縁化合物の探索と毒性同定評価 - 二枚貝を用いたアジア沿岸域の汚染モニタリング, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 90-91.
54. 武藤 衛・磯部友彦・Ramu, K.・Tue, N. M.・Viet, P. H.・高橋 真・田辺信介 (2011): ベトナムの e-waste 解体処理地域におけるヒト毛髪 of 臭素系難燃剤汚染, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 196-197.
55. 金 俊佑・磯部友彦・Malarvannan, G.・Sudaryanto, A.・Chang, K. H.・Prudente, M.・田辺信介 (2011): フィリピンのハウスダストにおける有機リン系難燃剤の汚染レベル, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 226-227.
56. 鈴木 剛・Tue, N. M.・Malarvannan, G.・Sudaryanto, A.・高橋 真・田辺信介・酒井伸一・滝上英孝 (2011): 日本及び諸外国で採取した室内ダストのハザード特性による類型化, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 276-277.
57. 渡邊 泉・高橋瑛子・田辺信介 (2011): 1973 年から 2009 年までの日本近海、北太平洋およびインド洋の魚類における微量元素濃度の変化, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 336-337.
58. 平田佐和子・小森憲治郎・堀内史枝・野口貴子・板井啓明・阿草哲郎・Viet, P. H.・Khanh, L.・高橋 真・田辺信介 (2011): ベトナム鉛バッテリーリサイクル地域住民の暴露実態と健康影響

- 評価, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 356-357.
59. 野口貴子・板井啓明・Tue, N. M.・阿草哲郎・平田佐和子・Trang, P. T. K.・Viet, P. H.・高橋 真・田辺信介 (2011): ベトナムバッテリー処理施設における鉛曝露の実態と健康リスク評価, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 358-359.
 60. 阿草哲郎・國頭 恭・Tue, N. M.・Lan, V. T. M.・Minh, T. B.・Trang, P. T. K.・高橋 真・Viet, P.H.・田辺信介・岩田久人 (2011): ベトナム人におけるヒ素曝露量と代謝遺伝子発現量の関係, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 360-361.
 61. Ilyas, M., Sudaryanto, A., Setiawan, I. E., Riyadi, A. S., Isobe, T., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011) : Sediment from open landfill as reservoir for PCBs and PBDEs contamination: learning from municipal dumpsite at Benowo, Surabaya City, Indonesia. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 388-389.
 62. Devanathan, G., Isobe, T., Subramanian, An., Kajiwarra, N., Asante, K. A., Suzuki, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Current pollution status of organohalogen compounds in India: with special focus on human exposure. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 392-393.
 63. Asante, K. A., Takahashi, S., Itai, T., Isobe, T., Devanathan, G., Dapaah-Siakwan, S., Agyakwah, S. K. and Tanabe, S. (2011): Evaluation of infant and human exposure to organohalogen compounds via breast milk and fish in Ghana. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 400-401.
 64. Tue, N. M., Suzuki, G., Isobe, T., Viet, P. H., Zhang, G., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2011): Evaluation of endocrine-disrupting activities in dust and air from e-waste recycling sites in Vietnam using in vitro bioassays. 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 402-403.
 65. 桂 加奈・Tue, N. M.・鈴木 剛・染矢雅之・Viet, P. H.・高橋 真・田辺信介 (2011): ベトナムの廃棄物処理地域におけるダイオキシン様物質のバイオアッセイモニタリング, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 450-451.
 66. 磯部友彦・小川翔平・Ramu, K.・田辺信介 (2011): 非 PBDE 臭素化代替難燃剤のアジア地域における汚染モニタリング, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 532-533.
 67. 柳本隼人・中田晴彦・篠原竜一・磯部友彦・田辺信介・能勢真人・小森浩章,・有田典正,・上田規史・渡部真文・Jemenez, B.・Yang, J. H.・国末達也・Kannan, K. (2011): 人体脂肪におけるベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤および人工香料汚染の国際比較, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 651-652.
 68. 安田悠佑・平田佐和子・板井啓明・磯部友彦・松石 隆・山田 格・田島木綿子・高橋 真・田辺信介 (2011): 北日本に分布するネズミイルカ (*Phocoena phocoena*) の微量元素蓄積特性と経年変動, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 852-853.
 69. 阿草哲郎・滝上英孝・江口哲史・藤森 崇・戸次加奈江・吉田 綾・寺園 淳・Ballesteros Jr., F. C.・高橋 真・田辺信介 (2011): フィリピンの e-waste リサイクル労働者における微量元素汚染, 第 20 回環境化学討論会, 熊本市, 7 月, 講演要旨集, 860-861.
 70. 金俊佑・磯部 友彦・Govindan Malarvannan・Agus Sudaryanto・Kwang-Hyeon Chang・Maricar Prudente・田辺 信介: ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤によるフィリピンハウスダストの汚染実態と急性毒性評価, 第 14 回日本水環境学会シンポジウム, 仙台, 9 月, 講演要旨集, 21.
 71. 磯部友彦・斎藤亜実・忍穂井智子・Ramu, K.・松石 隆・田島木綿子・山田 格・天野雅男・田辺信介 (2011) : 生物環境試料バンク (es-BANK) を活用した臭素系難燃剤による鯨類汚染の過去復元, 第 17 回日本野生動物医学会大会, 東京, 10 月, 講演要旨集, 71.
 72. 高橋 真・Tue, N. M.・桂 佳奈・Viet, P. H.・田辺信介 (2012): 臭素系ダイオキシンによる環境

- 汚染の動向—ベトナムの E-waste 処理地域における汚染実態—, 臭素系ダイオキシンに係る環境省ワークショップ, 東京, 2月.
73. 倉持秀敏、前田光治、Kim Young Han、酒井伸一：臭素系難燃剤の蒸気圧の測定, 第18回環境化学討論会講演要旨集, 276-277 (2009)
 74. 24. 松田 健士; 矢野 順也; 平井 康宏; 酒井 伸一; 山田 一男; 荻内 守; 堀 寛明 (2009) "厨芥類および紙類の発生抑制と再資源化に関するライフサイクル分析." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 20: 105-106
 75. 24. 浅利 美鈴; 宮崎 一真; 山川 肇; 酒井 伸一 (2009) "3R活動支援に向けた3R検定プログラムの開発及び意識・行動調査." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 20: 53-54
 76. 26. 岡田 彬; 平井 康宏; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2009) "消費者調査に基づく小型電気電子機器の静脈フロー推定." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 20: 31-32
 77. 27. 丸川 純; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2009) "ブラウン管テレビの退蔵・廃棄モデルとアナログ放送停波の影響." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 20: 167-168
 78. 28. 関 智賢; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2009) "レジ袋やごみ袋に含まれる鉛についての日韓比較調査." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 20: 157-158
 79. 岡田 彬; 岡本 賢吾; 平井 康宏; 酒井 伸一 (2010) "自動車に含まれる鉛の削減効果予測." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 21: 185-186
 80. 山下 真貴子; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2010) "記憶媒体、照明及びカード類の分別回収に関する基礎調査." 廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, 21: 89-90
 81. 丸川 純; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2010) "使用済み小形電池の分別回収行動に関する都市間比較." 廃棄物資源循環学会発表会講演論文集, 21: 39-40
 82. 関 智賢; 浅利 美鈴; 酒井 伸一 (2010) "レジ袋含有の鉛に関する日韓比較研究." 環境化学討論会講演要旨集, 19: 312-313
 83. 倉持 秀敏; 滝上 英孝; 酒井 伸一 (2010) "芳香族リン酸エステル系難燃剤の蒸気圧測定." 環境化学討論会講演要旨集, 19: 262-263
 84. 江口 剛史; 平井 康宏; 酒井 伸一 (2010) "ヘキサブromクロドデカン (HBCDs) の異性体別環境動態モデル." 環境化学討論会講演要旨集, 19: 250-251
 85. 滝上 英孝; 鈴木 剛; 平井 康宏; 酒井 伸一 (2010) "清掃用品のクリーニング工場における臭素系難燃剤の集積と挙動調査." 環境化学討論会講演要旨集, 19: 160-161
 86. 松田健士、矢野順也、平井康宏、酒井伸一：家庭系生分解性廃棄物の資源化・減量行動の LCI 分析, 第6回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp192-193 (2011)
 87. 矢野順也、松田健士、平井康宏、酒井伸一：バイオプラスチックへの素材転換による都市ごみの GHG 削減効果, 第6回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp202-203 (2011)
 88. 平井康宏、酒井伸一：14C法による都市ごみのバイオマス度測定, 第6回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp320-321 (2011)
 89. 浅利美鈴、山下真貴子、酒井伸一：家庭系有害廃棄物の保有・退蔵実態及びその性状、第20回環境化学討論会講演要旨集, p.52 (2011)
 90. 平井康宏、水嶋周一、酒井伸一：石綿含有成形板除去工事における石綿飛散実態の調査, 環境衛生工学研究, Vol.25, No.3, pp62-65 (2011)
 91. 矢野順也、浅利美鈴、平井康宏、酒井伸一：再生可能エネルギーを利用した空調システムのエネルギー消費量及びCO2削減効果の推定, 環境衛生工学研究, Vol.25, No.3, pp152-155 (2011)
 92. 李鎔一、矢野順也、浅利美鈴、酒井伸一：家庭系広告媒体由来廃棄物の発生抑制に関する研

- 究, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp1 - 2(2011)
93. 桜井健太、平井康宏、酒井伸一：循環指標に関するインターネット調査の傾向スコア法による補正, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp37 - 38(2011)
 94. 浅利美鈴、山下真貴子、酒井伸一：家庭系有害廃棄物（製品）の保有実態把握のための家庭訪問調査, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp75 - 76(2011)
 95. 倉持秀敏、滝上英孝、浅利美鈴、酒井伸一：震災で発生した海水被り廃木材および海中がれき廃木材の塩素含有量, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp159 - 160(2011) ポスター
 96. 平井康宏、水嶋周一、酒井伸一：石綿含有成形板の破碎試験による解体時飛散係数の推定, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp495 - 496(2011)
 97. 江口剛史、平井康宏、酒井伸一：ヘキサブロモシクロドデカン（HBCD s）の異性体別暴露モデルに関する研究, 第 22 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp509 - 510(2011)

6) 報告書等

1. 高橋 真 (2009): アジア太平洋地域における POPs 候補物質の汚染実態解明と新規モニタリング法の開発, 平成 18 年度～19 年度環境省地球環境研究総合推進費終了研究成果報告書「地球環境研究革新型研究領域」, 2009 年 4 月, 153-232.
2. Takahashi, S., Oshihoi, T., Isobe, T., Ramu, K., Ohmori, K., Kubodera, T. and Tanabe, S. (2009): Contamination by persistent organohalogen compounds in deep-sea fishes from off the Pacific coast of northern Japan. Deep-Sea Fauna and Pollutants off Pacific Coast of Northern Japan (ed. by Fujita, T.), National Museum of Nature and Sciences Monographs, (39), 737-755.
3. Subramanian, An. and Tanabe, S. (2009): Temporal and spatial variations of persistent organic pollutants in Indian breast milk. ENVIS NEWSLETTER, 7(3), 5-7.
4. Takahashi, S. and Tanabe, S. (2009): Global distribution and potential sources of persistent toxic substances: recent issues in the Asia-Pacific region. Report on Kyoto Workshop on 3R (Reduce, Reuse & Recycle) and Waste Management, Kyoto University, October 2009, 201-219.
5. 田辺信介(2010)：研究最前線：環境汚染と生態系リスクに関わる PCBs の問題点, 環境ホルモン学会 News Letter, 12(3), 2.
6. 田辺信介 (2010): 臭素系難燃剤の環境化学 (国際共著率高), サイエンスマップ 2008, 論文データベース分析 (2003 年から 2008) による注目される研究領域の動向調査, 文部科学省科学技術政策研究所, 平成 22 年 5 月, 224.
7. 田辺信介 (2010): 残留性有機汚染物質による環境汚染の動向, しろあり, 154, 1-7.
8. 鈴木 剛・高橋 真・田辺信介(2010)：研究最前線：野生高等動物に蓄積する内分泌攪乱化学物質の包括的同定評価の試み, 環境ホルモン学会 News Letter, 13(2), 5.
9. Tanabe, S. and Subramanian, An. (2011): Great eastern Japan earthquake – possible marine environmental contamination by toxic pollutants. Marine Pollution Bulletin, 62(5), 883-884.
10. Tanabe, S. and Subramanian, An. (2011): Need for environmental specimen banks in developing countries. Marine Pollution Bulletin, 62(9), 1933-1934.

知的所有権

なし