

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281050

研究課題名(和文) 室内残留性化学物質の探索と影響評価 - コンパニオンアニマルを指標動物として -

研究課題名(英文) Searching and risk assessment for indoor persistent chemicals -Use of companion animals as the indicators-

研究代表者

国末 達也 (KUNISUE, TATSUYA)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授

研究者番号：90380287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：乳幼児に対する室内化学物質曝露を評価する上で有用な指標動物となり得るコンパニオンアニマルに着目し、残留性有機汚染物質(POPs)、生活関連物質(PCPs)、微量元素の曝露実態および曝露ルートの解明、そしてリスク評価のテーマに取り組んだ結果、ペットフードだけでなく室内ダストからもPOPs、PCPs、そしてレアメタルに曝露していることが判明し、ポリ臭素化ジフェニルエーテル(PBDEs)の曝露が甲状腺ホルモン機能恒常性に影響を及ぼすことが示唆された。本研究は、室内環境由来のリスクを評価するエコチル調査等に有益な情報を提示することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Contamination status, exposure pathways, and risk assessment of persistent organic pollutants (POPs) such as polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), personal care products (PCPs), and rare metals were studied for companion animals, pet dogs and cats, which could be useful "sentinel animals" to evaluate indoor exposure of the above chemicals for infants. The study results revealed that companion animals are exposed to POPs, PCPs, and trace elements via not only their foods but also indoor dust, and indicated that PBDE exposure might adversely affect thyroid hormone homeostasis in pet cats. The present study provided valuable scientific findings to assess the indoor environment-derived risks for companion animals, and infants investigating in the Japan Environment and Children's Study (JECS).

研究分野：環境分析化学

キーワード：残留性有機汚染物質 コンパニオンアニマル ハウスダスト バイオアッセイ リスク評価

### 1. 研究開始当初の背景

電気・電子機器、家具、そしてパーソナルケア製品などの家庭用品には数多くの化学物質が使用されており、その中にはヒトへの健康影響が懸念される物質も含まれている。国際社会でとくに関心を集めているのは、polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) や hexabromocyclododecanes (HBCDs) などの臭素系難燃剤(BFRs)が挙げられるが、近年、医薬品や日用品に添加されている生活関連物質 (Pharmaceuticals and Personal Care Products: PPCPs)についても、その環境汚染や内分泌攪乱作用が注目されている。また、室内に設置されている電気・電子機器類にはリチウムなどのレアメタルも使用されている。これら化学物質の多くが室内品に使用されていることを考えると、室内汚染の実態、ヒトへの曝露、そして健康影響に関する調査は必要であるが、現在までそのような研究はBFRsに限定されており、その他の物質についてはほとんど実施されていない。とくに、室内滞在時間の長い乳幼児への曝露評価は不可欠であるが、血液試料(量)の入手に制約があり調査研究の実施を困難にしている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、室内で子ども同様に育てられているコンパニオンアニマルに着目し、血中の Persistent Organic Pollutants (POPs)や生活関連物質、そしてレアメタルなどの元素を測定することで、これら物質による室内曝露の実態を明らかにすることである。また、室内ダストとペットフードを化学分析することで曝露ルートの解明を試み、血中ホルモン濃度の測定から室内残留性汚染物質曝露によるリスクを評価する。さらに、バイオアッセイ法により血中に残留する未知活性物質の存在を検証する。

### 3. 研究の方法

本研究は、研究代表者の他に3名の研究分担者、そして連携研究者1名の組織体制で実施した。調査対象は、室内で家族同様に育てられているイヌとネコ(コンパニオンアニマル)に限定し、飼い主への説明・了解(インフォームドコンセント)を得た後、動物病院で血液(全血と血清)を採取した。また、実際に与えているペットフードおよび室内のダストも飼い主から提供を受けた。これらの試料中に残留するPOPsおよび代謝物、そして生活関連物質や微量元素の濃度を、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)、液体クロマトグラフタンデム質量分析計(LC-MS/MS)、誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS)を用いて測定した。また血清中の甲状腺ホルモン濃度を、近年開発したLC-MS/MS法により測定し、化学物質レベルとの関連性を解析した。さらに、アリル炭化水素受容体(AhR)、エストロゲン受容体(ER)、アンドロゲン受容体(AR)、甲状腺ホルモン受容体(TR)、グルコ

ルチコイド受容体(GR)、プロゲステロン受容体(PR)、そしてペルオキシゾーム増殖剤応答性受容体(PPAR $\alpha$ )のアゴニストおよびアンタゴニスト活性が検出できる各種核内受容体を組み込んだ *in vitro* レポーター遺伝子(CALUX)アッセイ法により、血清抽出物のレスポンスを評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) 微量元素の残留レベル

室内ダストとペットフードの微量元素濃度を比較したところ、ほとんどの元素がダストで高値を示した。Fe、Cu、Znなどの生体内必須元素は、ペットフードで検出されるものの、ハウスダストで有意に高値を示した(図1)。興味深いことに、Ag、In、Sn、Biといったレアメタル元素は、ペットフードでほとんど検出されず、ダストからは検出された(図1)。この結果は、室内にある電気・電子機器等に使用されたレアメタルが室内環境中へ放出されていることを示唆している。

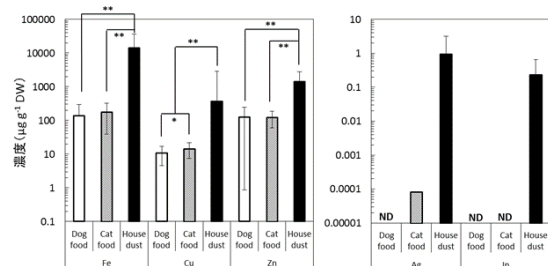


図1. 室内ダストとペットフードから検出された微量元素濃度

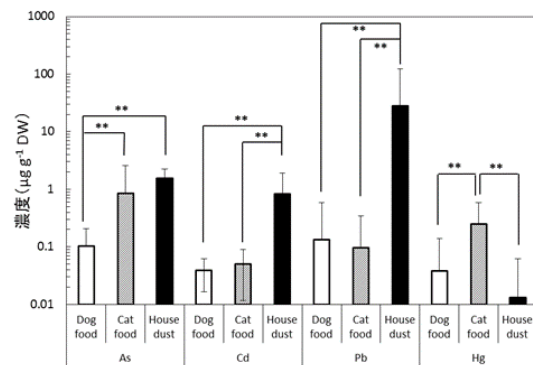


図2. 室内ダストとペットフードから検出された毒性元素濃度

毒性元素に着目すると、ペットフード安全法で規制値が設定されているAs、Cd、Pbについては、分析したペットフードでその規制値を超える試料は存在しなかった。ペットフードと室内ダストの濃度を比較したところ、CdとPbは室内ダストで有意に高値であった(図2)。As濃度は、ドッグフードで有意に低値であり、キャットフードとハウスダストでは有意差は認められなかった(図2)。また、ペットフード安全法で規制値が設定されていないHgは、ハウスダストよりもペットフード、とくにキャットフードで有意に高値を示した(図2)。キャットフードのAsおよび

Hg 濃度が高い要因は、原料として使用されている魚に由来していると推察される。

コンパニオンアニマルの血中からも、上記の必須および毒性元素は検出された。興味深いことに、イヌの血中では In と Bi が検出限界以下であったのに対し、ネコの血中からはこれらのレアメタルが検出された。室内のネコは、グルーミング（毛繕い）により室内ダストを大量に取り込むことでレアメタルに曝露している可能性が高い。

### (2) 生活関連物質の汚染と曝露ルート

日常的に使用しているパーソナルケア製品には様々な化学物質が含まれており、総称して生活関連物質 (Personal Care Products: PCPs) と呼ばれている。PCPs の中には環境残留性があり、生体内で内分泌攪乱作用を示す化合物が存在することから、近年欧米を中心に社会的・学術的関心を集めている。PCPs の主要なヒトへの曝露経路は、パーソナルケア製品の使用に伴う皮膚吸収と考えられる。物理化学特性を考慮した場合、一部の PCPs は室内ダストに吸着・残留することが予想され、製品使用頻度の少ない乳幼児も室内ダストを介して PCPs に曝露している可能性が高い。しかしながら、わが国における室内環境の PCPs 汚染に関する情報は乏しく、曝露実態も不明である。

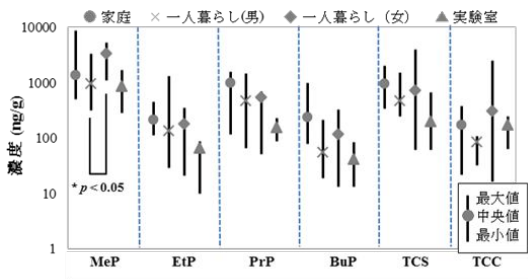


図 3. 採取場所によるダスト中 PCPs 濃度の比較

本研究では防腐剤であるメチルパラベン (MeP)、エチルパラベン (EtP)、プロピルパラベン (PrP)、ブチルパラベン (BuP)、そして抗菌剤のトリクロサン (TCS)、トリクロカルバン (TCC) に着目し、一般家庭、一人暮らし用アパート、大学の実験室から採取したダストを分析した結果、中央値の濃度順位は MeP > PrP ≥ TCS > EtP ≥ TCC > BuP であった (図 3)。一人暮らし女性における室内ダストの PCPs 濃度は相対的に高く、MeP は男性と比べ有意に高値を示した (図 3)。一方、パーソナルケア製品がほとんど使用されていない実験室で採取したダストの PCPs 濃度は低値であった (図 3)。分析した PCPs の中で MeP、PrP、そして TCS が製品に添加される頻度が高いことを考慮すると、上記の結果はパーソナルケア製品の使用にともない室内環境が汚染されていることを示唆している。室内ダストから検出された PCPs 濃度と USEPA が報告している推定一日ダス

ト摂取量の最大値を用いて、ダストを介した PCPs 曝露量を年齢ごとに見積もったところ、1 歳前後の乳幼児は成人と比べ約 20 倍高値を示した (図 4)。

$$\text{算出式: } EDI_{di} = \frac{C \times m_{di}}{BW}$$

EDI<sub>di</sub> : ダスト摂取による推定一日 PCPs 曝露量 (ng/kg-bw/day)

C : 室内ダストの PCPs 濃度 (ng/g)

m<sub>di</sub> : ダストの推定最大一日摂取量 (g/day)

BW : 平均体重 (kg)

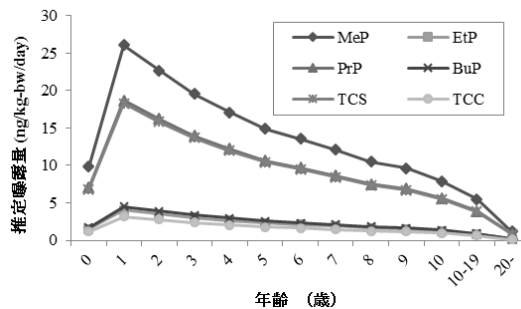


図 4. 室内ダストの PCPs 濃度とダスト推定一日摂取量から算出した年齢ごとのダストを介した PCPs 曝露量

表 1. ペットの血清および飼育されている室内のダストとペットフードから検出された PCPs 濃度 (ng/g wet wt.)

Sample ID	ダスト		
	MeP	EtP	PrP
DOG-1	<MDL	281	31
DOG-2	2300	1120	270
DOG-3	2490	1350	336
DOG-4	1100	101	760
DOG-5	679	142	121
DOG-6	2480	319	445
CAT-1	2730	492	1030
Sample ID	ペットフード		
	MeP	EtP	PrP
DOG-1	<MDL	<MDL	<MDL
DOG-2	7.84	1.59	<MDL
DOG-3	7.84	1.59	<MDL
DOG-4	8.97	1.69	<MDL
DOG-5	10.1	1.95	<MDL
DOG-6	4.49	1.11	<MDL
CAT-1	<MDL	<MDL	<MDL
Sample ID	血清		
	MeP	EtP	PrP
DOG-1	5.08	<MDL	34.7
DOG-2	5.13	2.11	95.7
DOG-3	<MDL	<MDL	<MDL
DOG-4	<MDL	1.15	63.9
DOG-5	<MDL	<MDL	166
DOG-6	<MDL	<MDL	113
CAT-1	<MDL	<MDL	149

室内ペットの血清からは MeP、EtP、および PrP が検出され、とくに PrP は高濃度であった (表 1)。PrP がペットフードから検出されなかったことから、ダスト由来の曝露を

反映しているものと推察されたが、ダストで高濃度を示した MeP はペットの血清で低値を示した(表1)。この要因は明らかでないが、MePとPrPの生物蓄積性や代謝・排泄速度、および血中タンパクとの結合能の違いが関与している可能性がある。PrPはパラベン類の中でエストロゲン活性が高いことが報告されており、今後、乳幼児に対する血中残留レベルや健康リスクに関する詳細な調査が必要である。

### (3) POPs 汚染と水酸化代謝物の残留レベル

これまで、BFRsであるPBDEsの室内ダスト汚染の実態調査は国内外で多数実施されてきたが、その他のPOPsにおける情報は乏しい。本研究で室内ダストとキャットフードのPCBsを分析した結果、それぞれ4.5 ng/g wet wt. (3.2~6.3 ng/g dry wt.) および250 pg/g wet wt. (110~480 pg/g wet wt.) の濃度範囲で検出され、ダストを介したPCBsの曝露が示唆された。PBDEsレベルは、ダストで140 ng/g wet wt. (93~4600 ng/g dry wt.)、フードで610 pg/g wet wt. (170~1700 pg/g wet wt.) であり、室内ダスト中濃度はPCBsと比べ1~3桁高い値であった。ネコの血清中PBDEs濃度を測定し組成を比較したところ、室内ダスト、フード、血清のすべてにおいてDecaBDE (BDE209)が主要異性体であった(図5)。

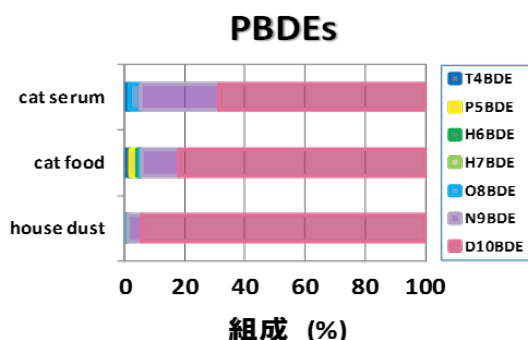


図5. ネコの血清および飼育されている室内のダストとキャットフードから検出されたPBDEsの同族体組成

キャットフード摂取量を65 g/dayとしてPBDEsの推定曝露量を見積もったところ、40 ng/dayであった。一方、1日のダスト摂取量としてヒト幼児の値(0.03 g/day)を用いた場合のダスト摂取によるPBDEs曝露量は、4.2 ng/dayと見積もられた。この結果から、室内で飼育されているネコのPBDEs曝露量は、その91%がフードを介していると推定された。しかしながら、室内ダストの摂取量はヒトの幼児による値であり、ネコの場合、グルーミングによる多量のダスト摂取が予想されることから、上記のPBDEs曝露量の見積もりは過小評価している可能性が高い。

次に、室内で飼育されていたネコとイヌの血清中PCBsとPBDEs、それらの水酸化代謝物(OH-PCBs, OH-PBDEs)、そして

OH-PBDEsの前駆物質(生体内の脱メチル化)と考えられるmethoxy PBDEs(MeO-PBDEs)濃度を測定した。ネコ血清中の有機ハロゲン化合物濃度は、PCBs: 290 pg/g (52-5200 pg/g)、OH-PCBs: 290 pg/g (71-800 pg/g)、PBDEs: 630 pg/g (27-7600 pg/g)、OH-PBDEs: 312 pg/g (6.9-4600 pg/g)、MeO-PBDEs: 18 pg/g (N.D.-500 pg/g)であり、イヌの血清中濃度は、PCBs: 54 pg/g (22-275 pg/g)、OH-PCBs: 120 pg/g (71-1300 pg/g)、PBDEs: 150 pg/g (79-900 pg/g)で、OH-PBDEsとMeO-PBDEsは検出限界以下であった。興味深いことに、すべての分析対象物質において、ネコの血清中レベルはイヌと比べ有意に高値を示した(図6)。この要因として、曝露量、代謝・排泄能、そして血中タンパク結合能などの種差が考えられるが、とくにネコは有機ハロゲン化合物の体内残留性が顕著な可能性があり、そのリスクが懸念される。

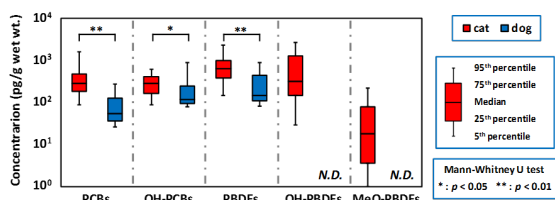


図6. 室内で飼育されていたネコとイヌの血清中PCBs, OH-PCBs, PBDEs, OH-PBDEs, MeO-PBDEs濃度の比較

### (4) 甲状腺ホルモン恒常性へ及ぼす影響

先行研究において、ペットのネコ血中から高濃度のPBDEsが検出され、増加する甲状腺機能亢進症との関連性が疑われている。甲状腺機能の攪乱には、PCBsやPBDEsだけでなく、水酸化代謝物(OH-PCBs, OH-PBDEs)も関与している可能性が高い。したがって、血中甲状腺ホルモン(THs)の分析は重要な課題となるが、ヒトを除く動物のTHs濃度を高精度で測定できる分析法は存在せず、わが国のペット動物について有機ハロゲン化合物および代謝物がTHs恒常性に及ぼす影響を調査した研究事例は皆無であった。本研究では、液体クロマトグラフタンデム質量分析計(LC-MS/MS)を用いたTHsの高精度測定法を開発し、有機ハロゲン化合物がTHsの恒常性へ及ぼす影響について検証した。

イヌとネコの血中で検出されたTHsと有機ハロゲン化合物濃度の関係をスピアマンの順位相関で検定した結果、ネコにおいて複数の有機ハロゲン化合物とTHsの間に有意な負の相関関係が認められた(表2)。さらに、PLS解析により各有機ハロゲン化合物の曝露がTHsに及ぼす影響の強さを評価した結果、DecaBDEはT<sub>4</sub>, T<sub>3</sub>, Free T<sub>4</sub> (FT<sub>4</sub>), Free T<sub>3</sub> (FT<sub>3</sub>)に対して最も強い影響を示すことが判明した。そこで、ネコ血清中DecaBDEの

曝露レベルと THs 濃度についてスピアマンの順位相関係数を求めたところ、 $T_4$ 、 $T_3$ 、 $rT_3$  は有意な強い負の相関関係 ( $p < 0.01$ ) を示し、 $FT_3$  も負の相関関係 ( $p < 0.05$ ) が認められた (図 7)。一方、 $FT_4$  では有意な関係はみられなかった ( $p > 0.05$ )。生理活性を有する  $FT_3$  で負の相関を示したことから、恒常的な DecaBDE の曝露は、日本のペットネコの甲状腺機能を撓乱していることが示唆された。

表 2. ペット血中の甲状腺ホルモンと有機ハロゲン化合物濃度の関係  
ネコ

	$T_4$	$T_3$	$rT_3$	$FT_4$	$FT_3$
PCBs	$\rho = -0.27$ $p > 0.05$	$\rho = -0.45$ $p < 0.01$	$\rho = -0.52$ $p < 0.01$	$\rho = 0.06$ $p > 0.05$	$\rho = -0.25$ $p > 0.05$
OH-PCBs	$\rho = 0.21$ $p > 0.05$	$\rho = 0.05$ $p > 0.05$	$\rho = 0.00$ $p > 0.05$	$\rho = -0.23$ $p > 0.05$	$\rho = 0.38$ $p < 0.05$
PBDEs	$\rho = -0.53$ $p < 0.01$	$\rho = -0.53$ $p < 0.01$	$\rho = -0.46$ $p < 0.01$	$\rho = -0.19$ $p > 0.05$	$\rho = -0.39$ $p < 0.05$
OH-PBDEs	$\rho = -0.19$ $p > 0.05$	$\rho = -0.36$ $p < 0.05$	$\rho = -0.45$ $p < 0.01$	$\rho = 0.03$ $p > 0.05$	$\rho = -0.13$ $p > 0.05$

イヌ

	$T_4$	$T_3$	$rT_3$	$FT_4$	$FT_3$
PCBs	$\rho = 0.38$ $p > 0.05$	$\rho = 0.05$ $p > 0.05$	$\rho = 0.41$ $p > 0.05$	$\rho = 0.34$ $p > 0.05$	$\rho = -0.20$ $p > 0.05$
OH-PCBs	$\rho = 0.14$ $p > 0.05$	$\rho = 0.35$ $p > 0.05$	$\rho = 0.17$ $p > 0.05$	$\rho = 0.04$ $p > 0.05$	$\rho = -0.16$ $p > 0.05$
PBDEs	$\rho = -0.05$ $p > 0.05$	$\rho = -0.14$ $p > 0.05$	$\rho = 0.14$ $p > 0.05$	$\rho = -0.13$ $p > 0.05$	$\rho = -0.18$ $p > 0.05$
OH-PBDEs	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D.: Not detected in serum

$\rho$  values: Spearman's rank correlation coefficients

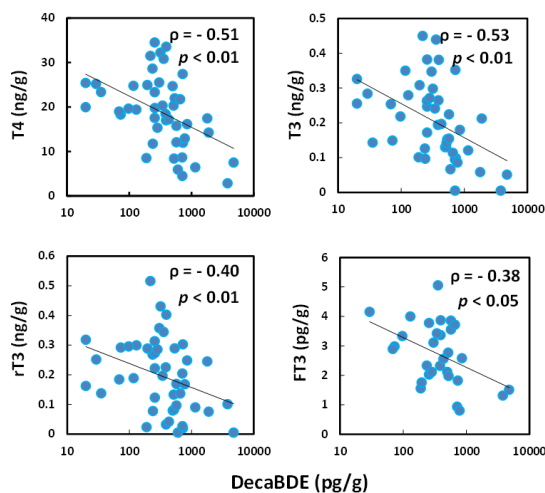


図 7. 室内で飼育されていたネコの血中甲状腺ホルモン ( $T_4$ 、 $T_3$ 、 $rT_3$ 、 $FT_3$ ) と DecaBDE 濃度の関係

$T_3$  の約 80% は  $T_4$  の脱ヨウ素化によって生成されるため、本研究で観察された  $FT_3$  の減少は、 $T_4$  に対する脱ヨウ素化阻害が要因と推察される。THs の脱ヨウ素化酵素には D1、D2、D3 の 3 種類が存在し、このうち血中の  $T_3$  濃度に関与するのは  $T_4$  から  $T_3$  への代謝を主に担う D1 である。マウスの PCBs 曝露試験では、D1 活性の低下が報告されており、本研究でみられた  $FT_3$  の減少は DecaBDE による脱ヨウ素化酵素の阻害が要因の一つと考え

られた。

### (5) *in vitro* バイオアッセイ評価

コンパニオンアニマル (および乳幼児) は多様な室内残留性化合物に曝露していると考えられるが、そのような化学物質を網羅的に解析した事例はなく、未知の有害物質の探索はきわめて困難である。本研究では、室内で飼育されているイヌやネコに残留している化学物質を毒性影響ベースで包括的に評価することを目的とし、*in vitro* バイオアッセイによる評価を試みた。

アッセイに適用可能な血清の前処理法を開発し、イヌおよびネコの血清 (プール試料) 中化学物質を抽出して DMSO に転溶後 (血清抽出液)、*in vitro* バイオアッセイで評価した。各種活性をスクリーニングした結果、イヌ血清では  $ER\alpha$  および  $PPAR\gamma 2$  アゴニスト活性、ネコ血清では  $PPAR\gamma 2$  アゴニスト活性が示された。しかしながら、高濃度曝露試験時に受容体非特異的な活性阻害がみられ、アンタゴニストではない阻害物質によって各種活性が適切に評価できていない可能性が示唆された。そこで、血清抽出液を C18 系分離カラムによるセミマイクロ HPLC 分画に供し、溶離時間に応じて分取した画分が示す活性を評価した。イヌ血清抽出液を評価した結果、 $ER\alpha$  アゴニスト活性が検出された (図 8)。アセトニトリル含有割合を減らし、溶出時間を遅らせても、活性は分離せずまとめて溶出したことから、同様の疎水性を示す活性物質が共溶出しているか、特定の活性物質が溶出していることが示唆された (図 8)。

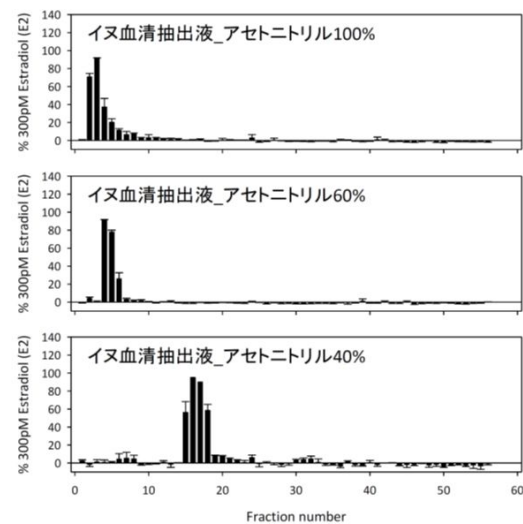


図 8. イヌ血清抽出液の  $ER\alpha$  アゴニスト活性パターン

次に、ネコ血清抽出液とエストラジオール ( $E_2$ ) を評価した結果、アゴニスト活性パターンは類似していた (図 9)。イヌ血清抽出液も同様のパターンであることから、今回対象としたイヌおよびネコ血清抽出液で検出された  $ER\alpha$  アゴニスト活性は、内因性の  $E_2$  に起因していると考えられた。セミマイクロ HPLC

分画と *in vitro* バイオアッセイによる活性パターン評価法をさらに改良できれば、影響クロマトグラフとして画期的な技術になると考えられ、未知の有害性物質や内因性物質の導出が期待できる。

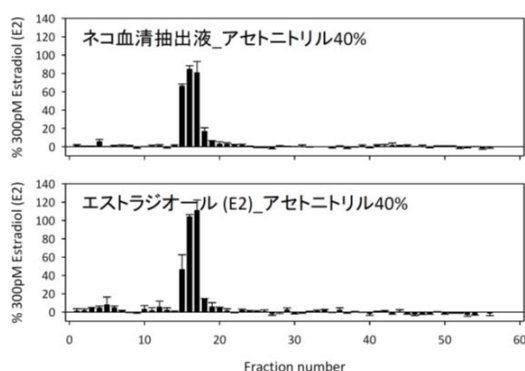


図9. ネコ血清抽出液および E2 の ER $\alpha$  アゴニスト活性パターン

本研究では、乳幼児に対する室内化学物質曝露を評価する上で有用な指標動物“sentinel animals”となり得るコンパニオンアニマルに着目し、フードだけでなく室内ダストからも POPs、生活関連物質、そしてレアメタルに曝露していること、そして PBDEs 曝露が甲状腺ホルモン機能恒常性に影響を及ぼす可能性を提示した。これらの知見は、室内環境由来のリスクを評価するエコチル調査等に有益であり、関連する国際機関の政策に貢献することも期待できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Mizukawa H, Nomiyama K, Nakatsu S, Iwata H, Yoo J, Kubota A, Yamamoto M, Ishizuka M, Ikenaka Y, Nakayama SMM, Kunisue T, Tanabe S. (2016): Organohalogen compounds in pet dog and cat: Do pets biotransform natural brominated products in food to harmful hydroxylated substances? *Environmental Science & Technology*, 50, 444-452. DOI: 10.1021/acs.est.5b04216

Suzuki G, Tue NM, Takahashi S, Tanabe S, Sakai S, Takigami H. (2014): Effect-based Hazard Identification of House Dust by In Vitro Assays Detecting Dioxin-like Compounds, Thyroid and Reproductive Toxicants. *Current Organic Chemistry*, 18, 2231-2239. DOI: 10.2174/1385272819666140804231453

Watanabe MX, Kunisue T, Ueda N, Nose M, Tanabe S, Iwata H. (2013): Toxicokinetics of dioxins and other organochlorine compounds in Japanese people: association with hepatic CYP1A2 expression levels. *Environment International*, 53, 53-61. DOI: 10.1016/j.envint.2012.12.008

〔学会発表〕(計10件)

Nishimura R, Tue NM, Tanabe S, Kunisue T. (2015): Contamination status of brominated flame retardants in house dust from Japan and risk assessment for humans. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) North America 36th Annual Meeting, Salt Lake City (USA), November 2015, Abstract Book, 252

Kunisue T, Ishida A, Tanoue R, Okamoto Y, Tanabe S. (2014): Contamination of indoor dust and exposure assessment for pet animals by personal care products. SETAC 35th Annual Meeting, Vancouver (Canada), November 2014, Abstract Book, 339

竈來佐和子, 中北有里子, 水川葉月, 野見山桂, 渡邊泉, 田辺信介, 岡本芳晴, 国末達也 (2014): イヌ・ネコにおける微量元素レベルの特性とその曝露起源の探索, 第23回環境化学討論会, 京都大学(京都府・京都市), 2014年5月, 講演要旨集, 193-194

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕該当なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

国末 達也 (KUNISUE TATSUYA)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授  
研究者番号: 90380287

(2) 研究分担者

岡本 芳晴 (OKAMOTO YOSHIHARU)

鳥取大学・農学部・教授  
研究者番号: 50194410

(3) 研究分担者

鈴木 剛 (SUZUKI GO)

国立研究開発法人国立環境研究所・資源循環・廃棄物研究センター・研究員  
研究者番号: 70414373

(4) 研究分担者

竈來 佐和子 (HORAI SAWAKO)

鳥取大学・地域学部・准教授  
研究者番号: 60512689

(5) 連携研究者

磯部 友彦 (ISOBE TOMOHIKO)

国立研究開発法人国立環境研究所・環境健康研究センター・主任研究員  
研究者番号: 50391066