

平成21年6月1日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18310046
 研究課題名 (和文) 野生高等動物における残留性有機ハロゲン化合物の蓄積・代謝特性の
 説明と影響評価
 研究課題名 (英文) Specific accumulation, metabolism and potential effects of
 persistent organohalogen compounds in predatory wild animals
 研究代表者
 高橋 真 (TAKAHASHI SHIN)
 愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授
 研究者番号：30370266

研究成果の概要：多様な野生高等動物を対象に、残留性有機ハロゲン化合物 (PCBs、PBDEs、HBCDs) による汚染実態や蓄積特性を調査した結果、猛禽類など陸棲の高等動物において臭素系難燃剤 (PBDEs、HBCDs) の汚染レベルの高いことが明らかとなった。また各有機ハロゲン化合物の異性体や水酸化 PCBs (OH-PCBs) の残留プロファイルを解析した結果、これら物質の代謝挙動は物質種や異性体、動物種間で大きく異なることが示唆された。酵母 CYP1A タンパク質発現系を用いた薬物代謝試験では、カワウやアザラシなどの化学物質代謝能がニワトリやヒトとは明らかに異なることが示された。レポーター遺伝子アッセイを用いた試験では、一部の OH-PCBs 等が甲状腺ホルモンの阻害作用を示すことが判明した。よって、これら有機ハロゲン化合物の毒性リスクを評価する際には、親化合物の代謝活性化や代謝能の動物種間差などを考慮する必要がある。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	3,300,000	990,000	4,290,000
総計	15,700,000	4,710,000	20,410,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・放射線・化学物質影響科学

キーワード：有機ハロゲン化合物、臭素系難燃剤、水酸化 PCBs、薬物代謝酵素、レポーター遺伝子アッセイ

1. 研究開始当初の背景

残留性有機汚染物質 (POPs) による地球規模での汚染拡大や生態系への影響を防止するため、2004年に「ストックホルム条約 (POPs条約)」が発効し、ポリ塩化ビフェニール (PCBs) やダイオキシン類等の12の物質 (群) について、生産・使用の規制や非意図的生成の削減が国際的に推進されることとなった。POPsに指定された PCBs や有機塩素系農薬の日本における生産・使用は1970年代に禁止されているが、今なお多様な生物から検出されており、とくに海棲哺乳類などの高次生物

相における汚染は依然として顕著である。一方、臭素化ジフェニルエーテル (PBDEs) など臭素系難燃剤の一部は、PCBs等と化学構造や物理化学性が類似していること、近年環境や人体等における汚染レベルが上昇していること、などから将来の POPs 候補物質として注目されている。しかしながら、臭素系難燃剤による野生生物の汚染実態は、調査研究が開始されたばかりであり、生物蓄積の特徴や影響等について未解明な課題が山積している。また PCBs や PBDEs は、生体内の薬物代謝酵素の作用により水酸化体 (OH-PCBs、

OH-PBDEs) に代謝されることが知られているが、最近の研究から OH-PCBs、OH-PBDEs の一部は PCBs や PBDEs よりも強い内分泌攪乱作用を示し、甲状腺系や脳神経系に悪影響を及ぼすことが示唆されている。したがって、野生生物におけるこれら有機ハロゲン化合物の潜在的リスクを評価するには、その代謝活性化を含めて検討する必要がある。しかしながら、従来の研究のほとんどは残留性の親化合物のみを対象としており、代謝産物を同定し、その代謝挙動の解明や影響評価まで踏み込んだ研究例は皆無であった。

2. 研究の目的

上記の背景を受け、本研究は以下3つの目的に従って実施した。

(1) 水酸化代謝物を含む有機ハロゲン化合物の分析法を確立し、野生高等動物(鯨類・鰭脚類などの海棲哺乳動物および鳥類・タヌキなどの陸棲動物)における汚染実態と蓄積特性、代謝挙動などを明らかにする。

(2) 酵母を用いたシトクロム P450 1A (CYP1A) タンパク質の発現系を構築し、野生高等動物の cDNA クローンから作成した CYP1A 分子種の薬物代謝機能を解析、検証する。

(3) 甲状腺ホルモン受容体 (TR) レポーター遺伝子アッセイを用いて、残留性有機ハロゲン化合物とその水酸化代謝物の甲状腺ホルモン恒常性かく乱作用を評価する。

3. 研究の方法

(1) 野生高等動物の臓器・組織試料と有機ハロゲン化合物の分析法

本研究で分析対象とした野生高等動物の試料は、主に愛媛大学の生物環境試料バンク (*es*-BANK) の保存試料を活用した。具体的には、鯨類のカズハゴンドウ、スジイルカ、スナメリ、鰭脚類のキタオットセイ、陸棲哺乳動物としてタヌキ、ネコ、イヌ、内陸・沿岸性の鳥類としてイヌワシ、オオタカ、オオワシ、カワウ、ハシブトガラス、ウミネコ、外洋性鳥類としてフルマカモメ、コアホウドリ、クロアシアホウドリの臓器・組織試料を化学分析に供試した。これら野生高等動物の試料は日本やその周辺海域で 1998 年~2007 年に採取されたものである。さらに、本研究では 2002 年に感染症によりオランダ沿岸で大量死したゼニガタアザラシの臓器・組織試料についても化学分析に供試した。

これら野生動物試料の分析は、既存の POPs 分析法を改良し、PCBs および PBDEs の主要異性体をガスクロマトグラフ・質量分析計 (GC-MS) で測定した。また、HBCDs については、高速液体クロマトグラフ・タンデム型質量分析計 (LC-MS/MS) を用いた分析法を開発し、 α 、 β 、 γ 異性体を測定した。OH-PCBs の分析に関しては、海外の先行研

究例等を参考に新たな試料前処理法を開発し、Trimethylsilyldiazomethane で誘導体化 (メチル化) した OH-PCBs の主要異性体を高分解能ガスクロマトグラフ・質量分析計 (HRGC-HRMS) で測定した。上記有機ハロゲン化合物の定量にあたっては、同位体ラベルした PCBs、PBDEs、HBCDs、OH-PCBs 異性体の標準物質をサロゲートとして試料前処理段階で添加し、内部標準法に基づいて濃度を算出した。

(2) 酵母 CYP1A タンパク発現系の構築と薬物代謝酵素活性の測定法

es-BANK 保管試料 (-80°C 保管の新鮮肝臓組織等) を用いてカワウ・ミンククジラ・バイカルアザラシの CYP1A cDNA クローンを作成した。これらを挿入した発現ベクターを酵母細胞に導入し、CYP1A タンパク質の異種発現を試みた。さらに CYP1A 等の発現の指標酵素活性であるアルコキシレゾルフィン (メトキシレゾルフィン・エトキシレゾルフィン・ペントキシレゾルフィン・ベンジロキシレゾルフィン) -*O*-脱アルキル化活性 (MROD・EROD・PROD・BROD) もしくは PCB77 の代謝活性を測定し、各酵素反応の V_{max} 値および K_m 値を算出した。

(3) TR レポーター遺伝子アッセイ

OH-PCBs 等を含む有機ハロゲン化合物の標準品および室内ダスト試料抽出液を TR レポーター遺伝子アッセイに適用し、それら物質の甲状腺ホルモン恒常性かく乱作用を評価した。TR レポーター遺伝子アッセイでは、ホタルルシフェラーゼ遺伝子を導入した組換えヒト骨肉腫細胞 (U2OS-*luc*) を用いて、TR β を介して発現されるルシフェラーゼ活性を測定した。甲状腺ホルモン様作用 (アゴニスト) だけでなく、TR β のリガンドであるトリヨードサイロニン (T3) との共曝露試験も行い、阻害 (アンタゴニスト) 作用やアゴニスト作用増強作用の評価を試みた。

4. 研究成果

(1) 野生高等動物における PCBs および臭素系難燃剤の蓄積特性

化学分析の結果、本研究で対象とした全ての野生高等動物において PBDEs および PCBs の蓄積が認められた。よって、PBDEs による汚染が PCBs と同様に、外洋の生態系にまで広がっていることが明らかとなった。また、PBDEs の蓄積には明らかな種間差が認められ、とくにオオタカ・オオワシなどの猛禽類やハシブトガラスから検出された PBDEs 濃度は、これまで野生高等動物を対象に実施した調査結果の中でも最高のレベルにあった (図 1)。一方、PCBs はカワウやアホウドリなどの魚食性鳥類や鯨類に相対的に高い濃度で蓄積しており、PBDEs で見られた種間差や分布の傾向とは異なっていた。PCBs に対する PBDEs の

濃度比を算出したところ、陸上・沿岸性の猛禽類やタヌキで高く、外洋性の海鳥類や鯨類では低い傾向が認められた。このような結果は、日本の陸上や沿岸環境にPBDEsの汚染負荷が継続していることやPCBsに比べPBDEsの移動拡散性が低いことを示唆するものと考えられる。また、カワウやタヌキ、スナメリ、カズハゴンドウなどから、PBDEsと同程度またはそれを超える濃度でHBCDsが検出された。よって、PBDEsだけでなくHBCDsによる汚染も多様な野生高等動物に広がっていることが示唆された。Deca-BDE製剤を除くほとんどのPBDEs製剤はすでに生産・使用が自粛・禁止されているが、今後はHBCDsのような他の代替難燃剤の汚染が広がる可能性もあり、その汚染の動向に関する継続的なモニタリングが必要である。

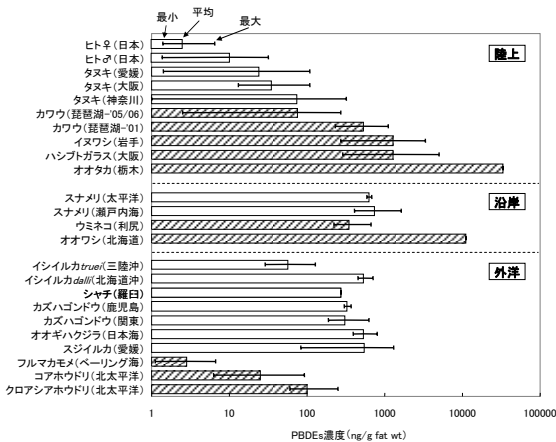


図1. 日本の内陸・沿岸および北太平洋外洋域に生息する野生高等動物におけるPBDEsの残留濃度 (ng/g 脂肪重当り)。白が哺乳動物、斜線が鳥類を示す。

さらに、カワウの筋肉と胃内容物の濃度から餌を介した生物濃縮係数 (BMF = 捕食者/餌生物の濃度比) を算出した。その結果、BMFはPCBs (13) > PBDEs (8) > HBCDs (3) の順であった。また、異性体によりBMFは大きく異なっており、PCBsおよびPBDEsの高ハロゲン化体は低ハロゲン化体よりも概して高いBMFを示した。加えて、同じハロゲン化数の同族体でも異性体によるBMFのばらつきがみられ、一部のPBDEs異性体のBMFは類似の構造を持つPCBs異性体に比べ、相対的に低値であった (図2)。すなわち、PBDEs異性体の一部は、生体内における脱臭素化など代謝・排泄を受けやすく、PCBsとはその蓄積・代謝のメカニズムが異なることが推察された。

また、オランダ沿岸で大量死を起こしたゼニガタアザラシの臓器・組織を分析した結果、脂肪厚が薄くやせている個体ほど、脂肪組織中の有機ハロゲン化合物負荷量が小さくなり、筋肉や肝臓中の負荷量が相対的に大きく

なる傾向が認められた。このことは、脂肪の減少に伴って脂肪から他臓器・組織にこれらの物質が再分配されることを示しており、薬物代謝酵素による代謝・活性化や毒性リスクの上昇が推察された。さらにPBDEs・HBCDs異性体とダイオキシン類・PCBs異性体の濃度比や相関を解析した結果、PBDEsやHBCDsは主に肝臓中の薬物代謝酵素CYP2Bにより代謝されている可能性が示唆された。

本研究により有機ハロゲン化合物の蓄積・代謝特性は生物種、物質種、さらに異性体ごとに異なっていることが明らかとなった。よって、その毒性リスクについても生物種や物質種・異性体ごとの生化学・薬理学的動態の違いや特徴を考慮して、評価することが重要である。

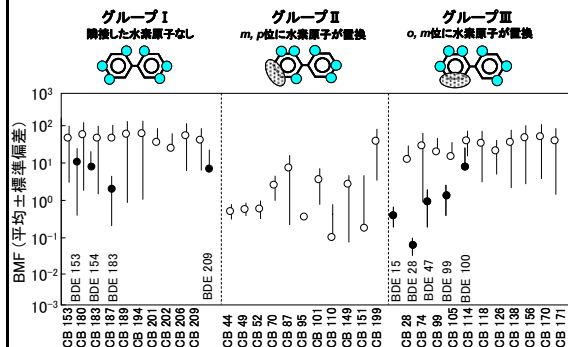


図2. カワウにおけるPCBs (白丸) およびPBDEs (黒丸) 異性体のBMF値比較

(2) 野生高等動物における水酸化PCBsの残留とPCBs代謝挙動

スナメリ、カズハゴンドウ、スジイルカの脳試料について、PCBsおよび水酸化PCBsを測定した。全ての検体からOH-PCBsが検出され、鯨類の脳におけるOH-PCBsの残留が初めて明らかとなった。未同定ピークを含む鯨類脳中の総OH-PCBs濃度は、カズハゴンドウで20-290、スジイルカで20-330、スナメリで170-240 pg/g (湿重当り) であり、脳中のPCBs濃度と比べると2-3桁ほど低値を示した。今回調査した鯨類脳中のOH-PCBs濃度やPCBsに対する濃度比をその他の野生動物やヒトの血中・脳中の報告値と比較すると、概して低値であった。このことは、鯨類の脳へのOH-PCBsの移行性が低いこと、あるいは鯨類における低いPCBs代謝活性を示唆している。今後、他の臓器・組織や動物種とOH-PCBsの残留プロファイルを比較し、鯨類のOH-PCBsの代謝能や脳への移行・分配挙動を明らかにする必要がある。また、OH-PCBs異性体の残留組成は、鯨種間で異なっており、PCBsの曝露状況や代謝能力、血中TTRとの結合能などに種間差のあることが推察された。さらに、スジイルカの胎児の脳からもOH-PCBsは検出され、その胎児への移行が明らかとなった。

鯨類脳中の総 OH-PCBs 濃度は、既報の 4' OH-CB106 による T3-TR 系遺伝子転写活性に対する抑制作用の閾値を超えており、野生高等動物の脳における OH-PCBs の毒性リスクが懸念された。

さらに、ヒト、ネコ、イヌ、タヌキ、キタオットセイ、カワウ、カラス、ウミネコの血液試料について PCBs および水酸化 PCBs を測定した。全ての検体から OH-PCBs が検出され、多様な野生高等動物における OH-PCBs の残留が明らかとなった。さらにネコからは比較的高濃度のペンタクロロフェノール (PCP) が検出され、OH-PCBs だけでなく他のハロゲンフェノール類による汚染が顕在化していることも明らかとなった。

野生高等動物から検出された OH-PCBsのうち、既知の異性体は 18 種であったが、HRGC-HRMS 測定による解析で OH-PCBs と推定される未知ピークがその他 50 種確認された。Total OH-PCBs に占めるこれら未同定異性体の割合は、ネコやキタオットセイ、カワウなどで高く、今後それらの構造解析や毒性評価等が望まれる。また、OH-PCBs 濃度は動物種によって大きく異なり、最高濃度を示したウミネコ (21,000 pg/g 湿重当り) から最も低値のイヌ (79 pg/g 湿重当り) まで 2 桁以上の違いが見られた。また、OH-PCBs の残留組成にも動物種間で大きな違いがみられ、ヒトの場合は 5~7 塩素の OH-PCBs が主要同族体であるのに対し、ネコでは 3~4 塩素化が、タヌキやイヌでは 8 塩素化の OH-PCBs が主要同族体であった。このことは、PCBs の曝露実態や代謝能、血中 TTR との結合能などに種間差のあることを示唆している。そこで本研究および既報の調査で報告されている様々な動物種の血中 OH-PCBs/PCBs 比について算出し、比較したところ、イヌ、ネコ、タヌキなどの陸棲哺乳動物は既報のホッキョクグマなどとともに、ヒトや他の野生動物種より高い OH-PCBs/PCBs 比を示した (図 3)。

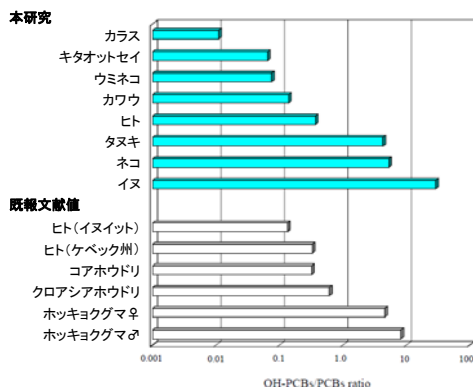


図 3. 野生高等動物およびヒト血中の OH-PCBs/PCBs 比の比較

以上本研究の結果は、野生高等動物に対す

る PCBs の影響を包括的に解明するためには、動物種間の PCBs 代謝能の違いを理解し、親化合物だけでなく、代謝物である OH-PCBs 等の毒性リスクもあわせて評価する必要があることを示唆している。

(3) 野生高等動物の CYP1A 発現と薬物代謝機能の解析

①カワウ

酵母細胞内にカワウ CYP1A4・1A5 およびニワトリ CYP1A5 タンパク質を発現させることに成功した。それぞれの分子種について還元型 - CO 差スペクトルを測定したところ、446 nm に吸収極大をもつ典型的な P450 スペクトルが認められた (図 4)。

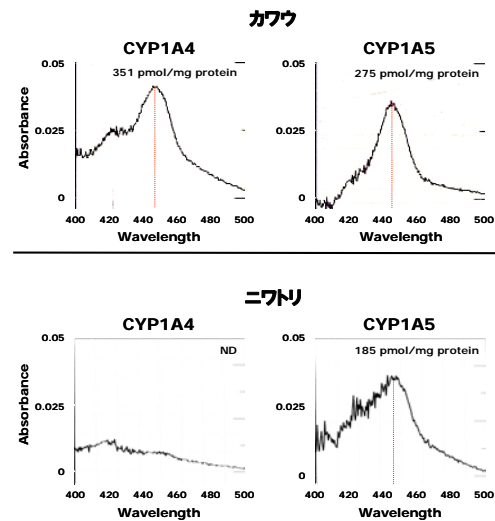


図 4. 酵母 CYP1A タンパク質発現系によりえられたカワウおよびニワトリの CYP1A 分子種の還元型 - CO 差スペクトル

続いて、異なる濃度のエトキシレゾルフィン (7-ER) を用いて CYP1A4・1A5 各分子種の脱エチル化 (EROD) 活性を測定し、それぞれの K_m および V_{max} 値を算出した。その結果、カワウで CYP1A4・1A5 の K_m 値はそれぞれ 0.11・0.30 μ M、 V_{max} 値はそれぞれ 1.0・1.5 nmol/min/nmol P450 であり、7-ER に対する結合力は CYP1A4 が CYP1A5 より強いと考えられた。また、CYP1A4 と CYP1A5 の基質特異性は顕著に異なっており、ベンジロキシレゾルフィン脱ベンジル化活性は CYP1A4 で、メトキシレゾルフィン脱メチル化活性は CYP1A5 で高くなる傾向が認められた。一方、ニワトリ CYP1A5 はカワウと異なり、いずれのアルコキシレゾルフィンについても脱アルキル化 (AROD) 活性は定量限界以下の低い値を示した。このことから、AROD 活性に対するニワトリ CYP1A5 の寄与は低いと推察された。以上の結果、鳥類 CYP1A 依存的な AROD 活性は、分子種間 (CYP1A4・1A5) ならびに鳥類間 (カワウ・ニワトリ) で異なることが明らかとなった。

②ミンククジラ

ミンククジラのCYP1A1の全長cDNAクローンを用いて、そのタンパク質を酵母で発現させることに成功した。この酵母からマイクロソームを調製し、ミンククジラCYP1A1依存的なPCB77の代謝実験をおこなったところ、2種類の水酸化PCB(4-OH-3,3',4',5'-TCBおよび5-OH-3,3',4,4'-TCB)の生成を確認した。その生成量は4位水酸化体よりも5位水酸化体の方が多いたことが明らかとなった。

③バイカルアザラシ

バイカルアザラシのCYP1A1の全長cDNAクローンを用いて、そのタンパク質を酵母で発現させることに成功した。その結果、450nm付近に吸収極大ピークを持つCYP特徴的なスペクトルを酵母細胞マイクロソームで観察した。この酵母からマイクロソームを調製し、CYP1A1発現の指標酵素であるMROD・EROD・PROD・BRODの活性(V_{max} ・ K_m)を測定した。その結果、バイカルアザラシCYP1A1によるEROD活性は他の活性より高く、ヒトCYP1A1の場合と類似していた。一方、測定した全ての酵素活性について、バイカルアザラシCYP1A1の V_{max} 値はヒトCYP1A1の値より低く、ERODとBRODの K_m 値はヒトCYP1A1の値とは異なっていた。これらの結果から、バイカルアザラシCYP1A1はヒトCYP1A1とは異なる基質代謝能を保持していることが示唆された。

以上、本研究の成果はCYP1A1依存的な薬物代謝能が動物種間やCYPA分子種間で異なることを示唆している。現在、有機ハロゲン化合物の野生動物に対する毒性リスク評価は、主にマウスやニワトリなどの一部実験動物に基づく毒性試験の結果等に基づいている。今後、野生動物における薬物代謝酵素の機能解析等を進め、種間の代謝能の違いなどを考慮したリスク評価系の構築が望まれる。

(4) レポーター遺伝子アッセイを用いた甲状腺ホルモン恒常性かく乱作用の評価

本研究でTRレポーター遺伝子アッセイに供した有機ハロゲン化合物のうち、単独でアゴニスト作用を示すような物質はなかった。しかしながら、T3との共曝露試験(曝露48時間後)において、Triclosan(2'-OH-2,4,4'-Trichlorodiphenyl ether)、2-OH-3',4',5'-Trichlorobiphenyl(TriCB)、2-OH-3',5,5'-TriCB、2-OH-2',3',4',5'-TetraCBおよび2-OH-2',3',4',5,5'-PentaCBについて阻害作用が、4,4'-diiodobiphenylおよびHexachlorobutadieneについてアゴニスト作用増強作用が、それぞれ観察された(図5)。さらに室内ダスト抽出液に本アッセイを適用した結果、T3との共曝露試験において一部の試料で顕著なアゴニスト作用増強作用が観察された。すなわち環境試料中に、T3の増

強作用を示す未知の化学物質が存在することが示唆された。

本研究では一部のOH-PCBsやハロゲン化フェノール類にT3の作用を阻害あるいは増強する作用のあること、環境試料中にも未知のT3作用増強物質が存在することが明らかとなった。今後は、多様な環境・生物試料を対象に、実際どのような物質がT3の阻害や増強作用に関与しているのか、毒性同定評価を進めるとともに、その作用メカニズムの解明や野生高等動物における毒性影響評価を実施することが課題である。

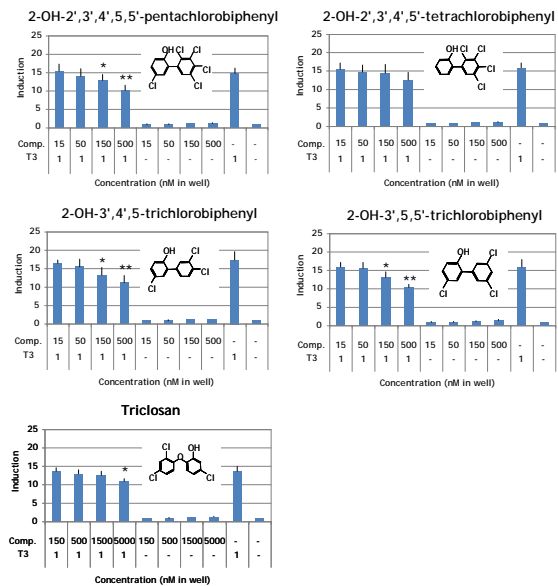


図5. OH-PCBs およびトリクロサンによるT3-TR 依存遺伝子転写活性の阻害作用

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Kunisue, T. and Tanabe, S. (2009): Hydroxylated polychlorinated biphenyls (OH-PCBs) in the blood of mammals and birds from Japan: Lower chlorinated OH-PCBs and profiles. *Chemosphere*, **74**(7), 950-961. 査読有
2. Kubota, A., Kim, E.Y. and Iwata, H. (2009): Alkoxyresorufin (methoxy-, ethoxy-, pentoxy- and benzyloxyresorufin) O-dealkylase activities by *in vitro* expressed cytochrome P450 1A4 and 1A5 from common cormorant (*Phalacrocorax carbo*), *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C Toxicology & Pharmacology*, 149(4), 544-551. 査読有
3. Kunisue, T., Higaki, Y., Isobe, T., Takahashi, S., Subramanian, An. and Tanabe, S. (2008):

- Spatial trends of polybrominated diphenyl ethers in avian species: Utilization of stored samples in the Environmental Specimen Bank of Ehime University (*es*-Bank). *Environmental Pollution*, **154**(2), 272-282. 査読有
4. Tanabe, S., Ramu, K., Isobe, T. and Takahashi, S. (2008): Brominated flame retardants in the environment of Asia-Pacific: an overview of spatial and temporal trends. *Journal of Environmental Monitoring*, **10**(2), 188-197. 査読有
 5. Kunisue, T., Takayanagi, N., Isobe, T., Takahashi, S., Nakatsu, S., Tsubota, T., Okumoto, K., Bushisue, S., Shindo, K. and Tanabe, S. (2008): Regional trend and tissue distribution of brominated flame retardants and persistent organochlorines in raccoon dogs (*Nyctereutes procyonoides*) from Japan. *Environmental Science & Technology*, **42**(3), 685-691. 査読有
 6. Tanabe, S. (2008): Temporal trends of brominated flame retardants in coastal waters of Japan and South China: Retrospective monitoring study using archived samples from *es*-Bank, Ehime University, Japan. *Marine Pollution Bulletin*, **57**(6-12), 267-274. 査読有
 7. Kunisue, T. and Tanabe, S. (2008): Contamination status and toxicological implications of persistent toxic substances in avian species. *Journal of Disaster Science*, **3**(3), 196-205. 有
 8. 滝上英孝 (2008): 廃棄物試料のダイオキシン類への生物検定法の適用と課題, エンバイオ 03 資源環境対策 別冊 **44** (6), 2-6. 査読有
 9. Isobe, T., Ramu, K., Kajiwara, N., Takahashi, S., Lam, PK., Jefferson, TA., Zhou, K., Tanabe, S. (2007); Isomer specific determination of hexabromocyclododecanes (HBCDs) in small cetaceans from the South China Sea – Levels and temporal variation, *Marine Pollution Bulletin*, **54**(8), 1139-1145. 査読有
 10. Kunisue, T., Sakiyama, T., Yamada, T. K., Takahashi, S., Tanabe, S. (2007): Occurrence of hydroxylated polychlorinated biphenyls in the brain of cetaceans stranded along the Japanese coast, *Marine Pollution Bulletin*, **54**(7), 963-73. 査読有
[学会発表] (計 4 件)
1. Isobe, T.: Contamination by brominated flame retardants in some wild and pet terrestrial mammals from Japan. 5th SETAC World Congress, Sydney, Australia, 4 August 2008.
 2. 高橋 真: 臭素系難燃剤による野生鳥類の汚染実態と蓄積特性, 第 17 回環境化学討論会, 神戸市, 2008 年 6 月 11 日
 3. 磯部友彦: 日本国内の小型陸棲哺乳類における臭素系難燃剤汚染, 第 17 回環境化学討論会, 神戸市, 2008 年 6 月 11 日
 4. 鈴木剛: TRレポーター遺伝子アッセイによる有機ハロゲン化合物と室内ダストの甲状腺ホルモン恒常性かく乱作用の評価, 第 35 回日本トキシコロジー学会学術年会, 東京, 2008 年 6 月 27 日
[図書] (計 1 件)
1. Takigami, H., Suzuki, G. and Sakai, S. (2008): Biological Responses to Chemical Pollutants – Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry, Murakami. Y., Nakayama, K., Kitamura, S. I., Iwata, H. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, 87-94.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
高橋 真 (TAKAHASHI SHIN)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授
研究者番号: 30370266
 - (2) 研究分担者
田辺 信介 (TANABE SHINSUKE)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授
研究者番号: 60116952
岩田 久人 (IWATA HISATO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授
研究者番号: 10271652
磯部 友彦 (ISOBE TOMOHIKO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・上級研究員
研究者番号: 50391066
 - (3) 連携研究者
滝上 英孝 (TAKIGAMI HIDETAKA)
国立環境研究所・循環型社会・廃棄物研究センター・室長
研究者番号: 00353540
国末達也 (KUNISUE TATSUYA)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・G-COE 研究員
研究者番号: 90380287
 - (4) 研究協力者
鈴木 剛 (SUZUKI GO)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・JSPS 研究員
研究者番号: 70414373