

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24651010

研究課題名(和文) 東日本大震災による残留性環境化学物質の海洋生物汚染とその長期モニタリングの検証

研究課題名(英文) Evaluation of Temporal Variation in Levels of Persistent Organic Pollutants and Trace Elements in Marine Ecosystem of Off-Tohoku after Great East Japan Earthquake

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、東日本大震災で海洋へ流出した残留性有機汚染物質および微量元素の曝露実態を明らかにすることを目的とし、震災前の2007年、震災後の2012年と2013年に東北沖で採取した魚類・鯨類を化学分析に供試した。その結果、PCBs、PBDEs、HBCDsについて栄養段階を考慮して震災前後の濃度変化を解析したところ、低次栄養段階の魚種の蓄積レベルは震災後に上昇していたことが明らかとなった。将来的に高次生物の汚染拡大に繋がる可能性もあるため、長期的なモニタリングが必要と考えられる。一方、PFRsは震災後に一時的な濃度上昇を示し、塗料等に使用されたものが震災によって流出したものと推察された。

研究成果の概要(英文)：As a result of tsunami of the Great East Japan Earthquake, varieties of chemicals were released into the marine environment. Present study investigated the contamination statuses, bioaccumulation and temporal trends of PCBs, BFRs, PFRs, PPCPs and trace metals in fish and cetacean samples from off-Tohoku region, Japan. Samples were collected in 2012 and 2013 and the results were compared with the archived samples stored at es-BANK, Ehime University. Concentration ranges of PCBs, PBDEs and HBCDs in fish were not much different among 2007, 2012 and 2013 samples, probably due to the different fish species analyzed, size and small sample number. When the fish trophic levels were considered, we found higher levels of PCBs and PBDEs in lower trophic level fish species collected in 2012 and 2013 than those in 2007. Levels of PFRs were higher in fish collected in 2012 and 2013 than those in 2007. Continuous monitoring survey in aquatic biota is warranted.

研究分野：環境化学

キーワード：東日本大震災 POPs 難燃剤 微量元素 海洋汚染

1. 研究開始当初の背景

平成23年3月11日に発生した巨大地震は大津波を誘発し、東日本沿岸に大災害をもたらした。この震災により、福島原子力発電所はチェルノブイリに匹敵するレベル7の原子力施設事故として世界の注目を集めた。原子力安全・保安院の試算によると、福島第一原発1～3号機から放出された放射性セシウム(^{137}Cs)は $15 \times 10^{15}\text{Bq}$ に及ぶとされており、このうちの相当量が海洋へ流出したことは疑いない。筆者らは、20世紀後半における海棲哺乳動物の ^{137}Cs 汚染について調査し、東日本沖合に分布する海棲哺乳動物の蓄積レベルはきわめて低く、この時代の東北沖は世界でも有数の清浄海域であったことを報告した(1)。今回の原発災害で放射性物質による東北沖の生物汚染がどのように変化するか、重大な関心を持ってモニタリングを実施・継続する必要がある。

今回の震災は放射能の問題だけでなく、多様な化学物質の流出をもたらしたと考えられ、とくに廃トランス・コンデンサーに含まれる PCB (ポリ塩化ビフェニル) の汚染が気かりである。PCB 含有廃トランス・コンデンサー (PCB 廃棄物) は電力会社や事業者によって長年保管されてきたが、2001年に PCB 処理に関する特別措置法が整備され、全国5か所に処理施設を建設して順次無害化がすすめられていた。その矢先に今回の震災にみまわれ、津波によって PCB 廃棄物が海洋へさらわれる事態となった。東日本大震災で倒壊した家屋やビルなどの災害廃棄物は約2,000万トンにのぼると環境省は推計している。さらに寒冷地の家屋には防燃目的で断熱材等に大量の有機臭素系・リン系難燃剤が使用されており、今回の津波によって海洋へ移行した建材等からの溶出も考えられる。類似の汚染問題は、医薬品や化粧品などの身体ケア製品由来の化学物質、大量の車両や船舶等の廃棄物に由来する鉛など毒性元素でも予想される。

2. 研究の目的

本研究では、海洋へ流出し生物に蓄積して健康リスクを脅かす残留性有機汚染物質および微量元素の曝露実態を明らかにすることを目的とし、(1) POPs 候補物質の分析法開発、(2) 魚介類試料の採集、(3) 既存 POPs・POPs 候補物質・微量元素汚染の実態解明に取り組んだ。また、その成果を踏まえながら長期モニタリングが必要な物質を選別・特定し、今後の学術調査および行政施策に寄与することを目的とした。

3. 研究の方法

1) 調査対象物質

背景で述べたように、本研究課題では残留性有機汚染物質と微量元素を対象とした。具体的には、既存の POPs (PCBs および有機塩素系農薬)、有機臭素系難燃剤のうち新規に POPs として条約登録された PBDEs (ポリ臭素化ジフェニールエーテル)、研究開始当時は POPs 候補物質として国際条約化が検討されていた HBCDs (ヘキサブロモシクロデカン)、その代替として

使用量の増大が懸念されている有機リン系難燃剤 (EHDPP, TBP, TCP, TPpP, TPP, TEHP, TDCPP 等) およびプラスチックや塗料の添加剤として使用され環境汚染と内分泌かく乱作用が懸念されはじめたベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤 (UV-P, UV-9, UV-234, UV-320, UV-326, UV-327, UV-328)、大量の家屋、車両や船舶等の廃棄物に由来する微量元素 (Pb, Hg, Cd など25元素) を測定した。

2) 化学分析

分析法は既存の方法(2-4)を踏襲し、脂肪含量の高い一部魚介類や鯨類の試料、新規物質については、回収試験や再現性・精度・感度等を検討し、適切な方法を再構築した。残留性有機汚染物質は、筋肉組織約30gを凍結乾燥し、高速加熱溶媒抽出装置を用いて目的物質を抽出後、ゲル浸透クロマトグラフィーとシリカゲルカラムで精製・分画した。PCBs と PBDEs はガスクロマトグラフ-質量分析計 (Agilent 7890GC - Agilent 5975MSD)、HBCDs と PFRs は高速液体クロマトグラフ-タンデム質量分析計 (Shimadzu UFLC - AB Sciex 5500 Q-Trap) で、それぞれ定性・定量した。微量元素は、魚介類試料を凍結乾燥・ホモジナイズし、マイクロ波加熱分解装置 (Milestone Ethos D) で酸分解後、ICP 質量分析計 (Agilent 7500cx) で Li, Mg, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi の25元素を定量した。また、Hg濃度を還元気化原子吸光法 (Hiranuma Hg-450) で定量した。

食物網を解析するため、窒素および炭素の安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$ および $\delta^{13}\text{C}$) を測定した。魚類は背中の筋肉、貝類は筋肉、イカ類は外套膜、動物プランクトンは混合試料を分析に供試した。試料をオープン (60°C) で24時間乾燥させた後、すりつぶして粉末にし、メタノール・クロロホルム溶液 (1:2) で脱脂した。脱脂した試料を窒素安定同位体比測定用、脱脂していないものを炭素安定同位体比測定用とし、それぞれ約1mg秤量して安定同位体比測定用精密質量分析計 (GC/C/IR-MS: ANCA-SL PDZ Europa Ltd) で測定した。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の値は次式で求めた。

$$\delta X = \left\{ \left(\frac{R_{\text{Sample}}}{R_{\text{Standard}}} \right) - 1 \right\} \times 1000$$

δX : 元素 X の安定同位体比 (‰)

R_{Sample} : 試料中の元素 X の同位体比

R_{Standard} : 標準物質中の元素 X の同位体比

栄養段階 (TL) は、動物プランクトンが基準生物として次式に基づいて算出した。

$$\text{TL} = 2 + (\delta^{15}\text{N}_{\text{捕食者}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{動物プランクトン}}) / 3.4$$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{捕食者}}$: 対象生物の $\delta^{15}\text{N}$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{動物プランクトン}}$: 動物プランクトンの $\delta^{15}\text{N}$

3) 試料

魚介類試料は、2007年9月、2012年9～11

月、2013年8~11月に東北沖で魚類17種 111検体(2007年:10種 42検体、2012年:10種 33検体、2013年:13種 36検体)および動物プランクトンを採取した。これらの魚種については、震災以前に東北沖で採取した個体が愛媛大学のes-BANKに多数冷凍保存されている。本研究では同種の試料を3年間にわたり採取し、震災以前の試料と併せて分析に供試した。残留性有機汚染物質および微量元素の分析は、主として肝臓および筋肉を用いた。

鯨類試料は、沿岸性の種としてネズミイルカ(*Phocoena phocoena*)を、近海・外洋性の種としてイシイルカ(*Phocoenoides dalli*)を供試した。これらの鯨種は東北・北海道の沿岸および沖合で震災以前に混獲・漂着・座礁した個体の臓器・組織試料が愛媛大学のes-BANKに冷凍保存されており、比較対照として用いた。また、震災以降の試料は、スタンディングネットワーク北海道および国立科学博物館の協力で収集した。地震発生1週間前に茨城県沿岸に座礁し、es-BANKに冷凍保存された鯨類カズハゴンドウ(*Peponocephala electra*)の臓器・組織試料も分析に供試した。

4. 研究成果

1) 有機化合物による魚介類汚染の実態解明と経時変化

研究を開始した当初は、震災による魚類中有機汚染物質濃度の上昇を予想したが、PCBs、クロルデン(CHLs)、ジクロロジフェニルトリクロロエタン(DDTs)およびPBDEsに明瞭な濃度差はみられなかった(図1)。この要因として、魚種間で大きな濃度差が認められたものをまとめて比較したことが挙げられる。また、HCHs、HBCDsでは魚種が異なるにもかかわらず、震災後に濃度減少がみられた。この要因としてHCHs、HBCDsの環境負荷量が震災前に比べ、震災後で減少した可能性、もしくはハロゲン化アルカン分解酵素(Lin)をもつ細菌による海水中HCHs、HBCDsの分解が考えられる。先行研究ではLinをもつ細菌により、ハロゲン化シクロアルカン構造を有するHCHs、HBCDsの分解を報告している(5)。津波によって巻き上げられた堆積物中のLinをもつ細菌が海水中のHCHs、HBCDsを分解し、濃度低減を導出した可能性が考えられる。一方、PFRs、BUVSsは魚種が異なるにもかかわらず、震災後に一時的な濃度上昇を示し、震災による環境流出が示唆された。魚類から検出された各PFR化合物濃度を震災前後で比較したところ、第二種監視化学物質に指定され業界が自主規制に取り組んでいるTNBPとTMPPに加え、TPEP、TPP、そしてEHDPP濃度は2007年と2013年に比べ2012年で有意な高値を示した。TNBP、EHDPP、TMPPは塗料に防燃目的で使用されていることから、建材に利用された塗料中のこれらPFRsが震災により漏出したものと考えられた。また、魚類から検出されたBUVSs化合物濃度を震災前後で比較したところ、UV-P、UV-9、UV-234、UV-320、UV-328、UV-32濃度は2007年と2013

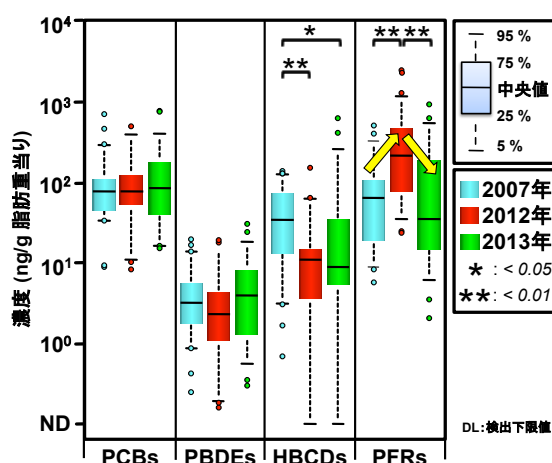


図1. 2007年、2012年、2013年に東北沖で採取した魚介類中の有機汚染物質濃度

年に比べ2012年で有意な高値を示した。また興味深いことに、各年代の検出率を比較した際、2007年に第一種特定化学物質に指定され、製造、使用、輸出入が禁止されたUV-320は、2007年の魚類試料から検出されなかったが、震災後の2012年(37.5%)、2013年(19.4%)では検出された。過去に建材や自動車部品に使用したUV-320が震災に伴い発生した津波によって海洋に流出し、魚に曝露、蓄積した可能性がある。

窒素・炭素安定同位体比を用いて食物網を解析した結果、採取した魚類試料のうち2007年の8種36検体、2012年の7種25検体、2013年の11種30検体は同じ食物網に属すると推定された。そこで、これらの魚類中有機汚染物質濃度と栄養段階(TL)の関係を解析したところ、2007年ではPCBs、CHLs、DDTs、PBDEs、HBCDs、PFRs濃度とTLの間に有意な正の相関が認められた(図2)。一方、2012年に採取した試料では、2007年の試料で生物濃縮がみられた6物質のうち、DDTsを除く(DDTs: $p < 0.01$)、PCBs、CHLs、PBDEs、HBCDs、PFRsに生物濃縮性は認められなかった。2013年では、PCBs、DDTs、PBDEs、HBCDsは有意な正の相関関係を示したが(PCBs: $p < 0.01$ 、DDTs: $p < 0.01$ 、PBDEs: $p < 0.01$ 、HBCDs: $p < 0.01$)、近似直線の傾きは震災前の2007年に比べ小さく、CHLs、PFRsは明らかな相関を示さなかった。この原因として、2012年と2013年に採取したTL3.0以下の低次栄養段階の魚種のPCBs、CHLs、DDTs、PBDEs、PFRs濃度が、2007年に比べ高値を示す傾向が観察された。そこで、2007年の栄養段階と有機汚染物質濃度との相関関係から95%予想区間を算出した。仮に、2007年で認められた生物濃縮の傾向が定常状態に達していたとすれば、栄養段階の高低に関わらず魚類中濃度は予想区間に収まると考えられる。しかしながら、2012年と2013年の低次栄養段階の魚種(TL<3.0)は予想区間より高いPCBs、CHLs、DDTs、PBDEs、PFRs濃度を示した(図2)。これらの結果から、震災で流出したPCBs、CHLs、

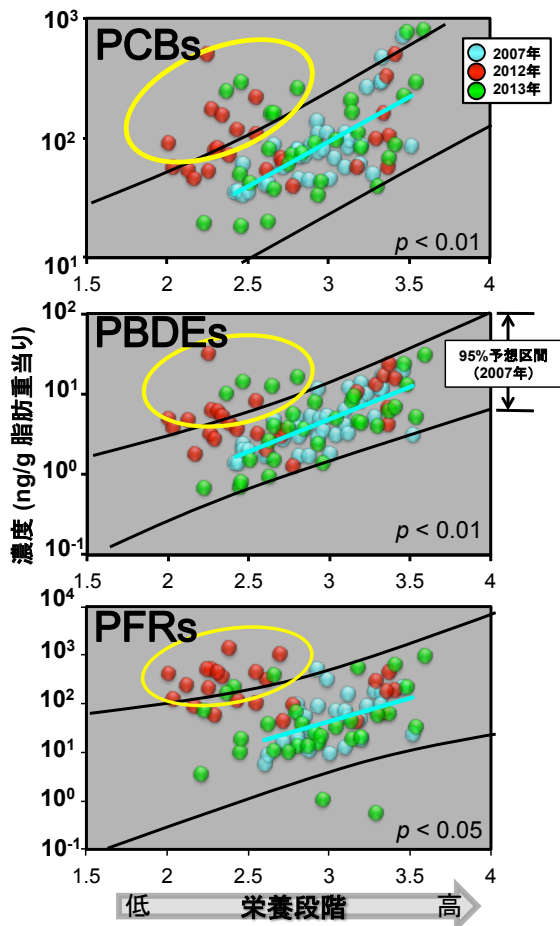


図 2. 栄養段階と有機汚染物質濃度の関係

DDTs, PBDEs, PFRs が、低次栄養段階の魚種へ過剰に曝露・蓄積し、生物濃縮を攪乱したことが示唆された。現状では低次栄養段階生物で濃度上昇が認められたが、将来的に食物網を介して高次栄養段階の魚種に濃縮が拡大する可能性が考えられる。

震災後の魚中 PCBs, CHLs, DDTs, PBDEs, PFRs 濃度は栄養段階により影響を受けていることが判明したため、TL の中央値である TL=3 で補正し、各年の PCBs, CHLs, DDTs, PBDEs, HBCDs, PFRs 濃度を比較した。その結果、2007年と2013年に比べ2012年の魚中 PCBs, CHLs, DDTs, PFRs 濃度は有意に高値を示し、先に述べた PFRs に加え PCBs, CHLs, DDTs の流出が示唆された。環境省によると東北地方で保管されていた廃トランス・コンデンサー216 台の流失が報告されており(6)、PCBs 含有量から最大2トンの PCBs が海洋へ漏出したものと推定される。ここで、2012年に採取した魚類中 PCBs 濃度から、現在の海水中濃度を見積もり、海水中 PCBs 減少率に基づいて、震災直後の海水中に存在した PCBs 総量を推算した。PCBs の物性値と減少率は、それぞれ EPI Suit モデルおよび MuSEM (Multimedia Simplebox Systems Environmental Model) で算出し、生物濃縮係数は Meylan *et al.* (7) の報告値を用いた。モデル解析の結果、震災による海洋への PCBs 流出量は 0.01 - 0.72 トン(中央値:0.21 トン)と見積もら

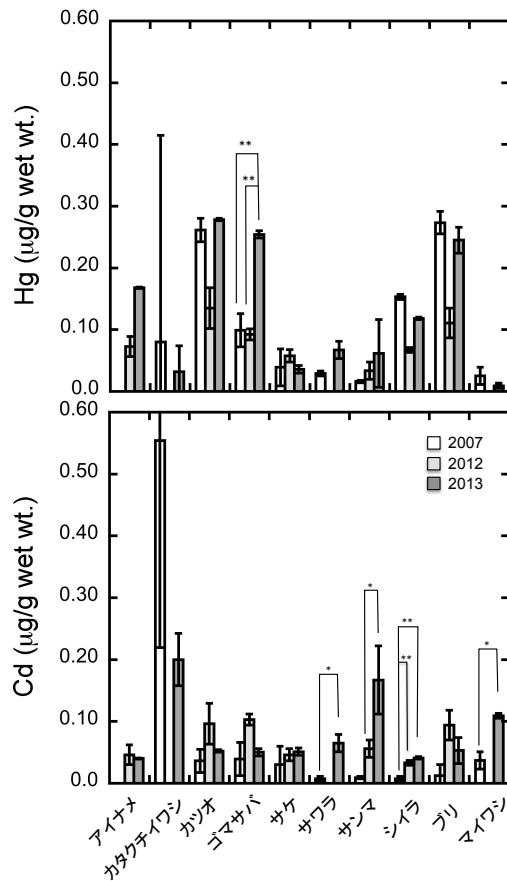


図 3. 2007年・2012年・2013年に気仙沼で採取した魚介類の水銀・カドミウム濃度

れ、海洋に流出した PCB 含有機器に含まれていた PCBs 総量(2トン)とは 1.3 - 2.0トンの乖離があった。すなわち、震災時に東北沿岸部へ流出した廃トランス・コンデンサー内には、依然として 1 - 2トンの PCBs が残存している可能性がある。この残存 PCBs は今後海水中へ流出することが予想されるため、継続的な海洋モニタリングが必要と考えられた。

2) 鯨類の有機汚染物質汚染レベルの経年変化

震災後の平成 23 年に死亡漂着したネズミイルカ (*Phocoena phocoena*) およびイシイルカ (*Phocoenoides dalli*) の脂皮を化学分析に供試し、震災前後の汚染物質蓄積レベルを比較した。その結果、いずれの種でも既存 POPs・POP 候補物質の蓄積レベルに有意な差は認められず、津波等で海洋に流出した化学物質の曝露は対象鯨種に及んでいないことが明らかとなった。しかしながら、既存 POPs・POP 候補物質は水溶性が低く海水を介した拡散速度が遅いこと、および食物網を介して生態系高次の鯨類に高蓄積するには数ヶ月～数年の時間が必要なこと、などを考えると、モニタリングを継続して今後の汚染物質レベルを注視する必要がある。また、カズハゴンドウ (*Peponocephala electra*) については、震災直前に大量座礁した検体の化学分析を実施してデータを得たが、震災後は今のところ漂

着事例がなく、震災の影響を評価する段階に至っていない。

3) 魚介類の微量元素レベルの経時変化

2012年と2007年の間の重金属類濃度の有意差をMann-WhitneyのU検定で計算した結果、カツオではAs, V, シイラではV, ゴマサバではCr, Cd, サケではHg, ブリではCd, Asが2012年において有意に高値を示した。さらに、2007年と2012年の各種重金属類平均濃度の差を変動比(2012/2007)として示したところ、3種以上の生物について変動比>1を示したのはAs, Cd, Co, Znであった。これらの結果を総括すると、多くの元素については震災による海洋への重金属類流出の影響は認められないものの、V, As, Cdなどはやや上昇傾向にあることが示唆され、継続的な調査が必要である。これらの元素濃度が上昇傾向を示す原因は不明であるが、Vについては海洋への石油流出の影響、As, Cdなどについては鉱山由来物質の津波による流出を検証する必要がある。生物濃縮性・生態毒性ともに高いカドミウムと水銀について、2007、2012、2013年間での変化を解析した(図3)。水銀については、各魚種について系統的な経年変化は認められないが、2013年のゴマサバは2007年に対し有意な上昇を示し、サンマ・サワラも2007-2013で次第に上昇する傾向を示した。総水銀の暫定安全基準値は0.4 µg/g wet wt. であり、これを超過したのはカタクチイワシ1試料のみであったが、カツオ・ブリ・ゴマサバなどの大型魚は平均値が0.2 µg/g wet wt.を超過しており、今後も観測を継続することが望まれる。カドミウムについては、サワラ・サンマ・シイラ・マイワシなどで、経年的な上昇傾向が認められており、いくつかの年代間で統計的有意差も得られている。とくにサンマ中Cd濃度は顕著な上昇傾向が認められ、中央値比較では2013年の値は2007年の16倍に相当する。現時点では各年代の分析試料数が限られているため、定量的な考察を進める段階にないが、es-BANKには未分析の試料も多く残存しているため、これらを分析することが必要である。Cdの経年的な上昇傾向の原因は不明であるが、Cdは様々な製品に含まれると同時に、土壌中にも存在しており、陸域の土壌が津波で海洋環境に流出した、あるいは底質の巻き上げ時に溶出した、などの現象もこの濃度変化に寄与している可能性がある。

<引用文献>

1. Yoshitome et al.: Environ. Sci. Technol., 37, 4597-4602, 2003
2. Udaoka et al.: Mar. Pollut. Bull., 58, 290-294, 2009
3. Tanabe and Minh: Ecotoxicology, 19, 463-478, 2010
4. Kim et al.: J. Chromatogr. A, 1218, 3511-3520, 2011
5. Heeb et al.: Chemosphere, 107, 194-202, 2014
6. 環境省産業廃棄物課. 東日本大震災のPCB廃棄物への影響について(第9報) 2012.

7. Meylan et al.: Environmental Toxicology and Chemistry. 18, 664-72, 1999.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計6件)

1. Kim, J. W., Isobe, T., Tanoue, R., Chang, K. H. and Tanabe, S. (2015): Comprehensive determination of pharmaceuticals, personal care products, benzotriazole UV stabilizers and organophosphorus flame retardants in environmental water samples using SPE coupled with UHPLC-MS/MS. Current Analytical Chemistry, 11, 138-149. (査読あり)
doi: 10.2174/157341101102150223141925
2. Tanoue, R., Nomiyama, K., Nakamura, H., Hayashi, T., Kim, J. W., Isobe, T., Shinohara, R. and Tanabe, S. (2014): Simultaneous determination of polar pharmaceuticals and personal care products in biological organs and tissues. Journal of Chromatography A., 1355, 193-205. (査読あり)
doi: 10.1016/j.chroma.2014.06.016
3. 田辺信介・磯部友彦 (2013): 海洋汚染とどのようにつきあうべきか, WWF ジャパン暮らしと自然の復興プロジェクト実施報告書, 世界自然保護基金ジャパン, 68-75. (査読なし)
4. 田辺信介 (2013): 東日本大震災で懸念される海の化学汚染, 人と海洋の共生をめざして, 150人のオピニオン IV, 海洋政策研究財団, 150-151. (査読なし)
5. Isobe, T., Ogawa, S. P., Ramu, K., Sudaryanto, A. and Tanabe, S. (2012): Geographical distribution of non-PBDE-brominated flame retardants in mussels from Asian coastal waters. Environmental Science and Pollution Research, 19(8), 3107-3117. (査読あり)
doi: 10.1007/s10661-012-2972-7
6. Tanabe, S. and Ramu, K. (2012): Monitoring temporal and spatial trends of legacy and emerging contaminants in marine environment: results from the environmental specimen bank (es-BANK) of Ehime University, Japan. Marine Pollution Bulletin, 64(7), 1459-1474. (査読あり)
doi:10.1016/j.marpolbul.2012.05.013

[学会発表](計7件)

1. 西岡宗一郎・磯部友彦・国末達也・Chang, K. H.・Kim, J. W.・仲井邦彦・中田晴彦・田辺信介 (2014): 東北沖魚類生態系におけるPCBs, BFRs, PFRs, BUVSsの蓄積レベル-2007年から2013年の経年変化-, 環境ホルモン学会第17回研究発表会, 東京大学(東京都・文京区), 12月, 要旨集, 71.
2. Tanabe, S. (2014): Contamination by brominated flame retardants in the Asia-Pacific region (Plenary Lecture). International Conference of Asian Environmental Chemistry 2014 (ICAEC2014),

Bangkok, Thailand, November, Programs and Abstracts, xiv.

3. 西岡宗一郎・磯部友彦・張 光玳・金 俊佑・仲井邦彦・中田晴彦・田辺信介 (2014): 東北沖魚類生態系における PCBs, BFRs, PFRs 蓄積レベルの経時変化, 第23回環境化学討論会, 京都大学(京都府・京都市), 5月, 講演要旨集, 219-220.
4. 磯部友彦・金 俊佑・西岡宗一郎・張 光玳・田辺信介 (2013): 魚類中リン酸エステル系難燃剤の分析とヒト曝露評価, 第16回日本水環境学会シンポジウム, 琉球大学(沖縄県・西原町), 11月, 講演集, 167.
5. 西岡宗一郎・磯部友彦・仲井邦彦・中田晴彦・張 光玳・田辺信介 (2013): 東北沖魚類生態系における PCBs, BFRs 蓄積レベルの経時変化, 第22回環境化学討論会, 東京農工大学(東京都・府中市), 7-8月, 講演要旨集, 446-447.
6. 染矢雅之・江口哲史・鈴木 剛・野見山桂・後藤哲智・高橋 真・滝上英孝・田辺信介 (2013): 日本沿岸域の二枚貝に残留する臭素化ダイオキシン類の起源とその毒性影響評価, 第22回環境化学討論会, 東京農工大学(東京都・府中市), 7-8月, 講演要旨集, 132-133.
7. Asante, K., Isobe, T., Takahashi, S., Nishioka, S. and Tanabe, S. (2012): Levels of congener profiles of PCBs and BFRs in fish from the Tohoku coastal area, Japan and toxicological risk assessment. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Asia/Pacific 2012, Kumamoto, Japan, September, Abstracts, 105.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

磯部 友彦 (ISOBE, Tomohiko)

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

板井 啓明 (ITAI, Takaaki)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・講師

研究者番号: 60554467