

平成 21 年 6 月 23 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19780239

研究課題名（和文） 新規臭素系難燃剤による生態系汚染とその代謝挙動の解明

研究課題名（英文） Environmental pollution by new brominated flame retardants

研究代表者

磯部 友彦 (ISOBE TOMOHIKO)

愛媛大学・上級研究員センター・上級研究員

研究者番号：50391066

研究成果の概要：

ヘキサブロモシクロドデカン(HBCDs)やテトラブロモビスフェノール A (TBBPA)は使用量が増大している臭素系難燃剤であるが、環境・生態系汚染の実態は全く把握されていない。本研究では、HBCDsとTBBPAの高感度分析法を開発し、汚染の分布や蓄積特性、経時的推移を解析した。その結果、HBCDs汚染はアジア途上国よりも日本沿岸で顕在化していた。保存試料を用いて過去の汚染を復元したところ、HBCDs汚染は近年急激に深刻化していた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	0	2,000,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	420,000	3,820,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：環境汚染、臭素系難燃剤、ヘキサブロモシクロドデカン、テトラブロモビスフェノールA、生物濃縮、スペシメンバンク、LC-MS/MS

1. 研究開始当初の背景

ヘキサブロモシクロドデカン(HBCDs)およびテトラブロモビスフェノール A (TBBPA)は、年間それぞれ17,000トンおよび120,000トンが世界で生産されており、臭素系難燃剤の中ではポリ臭素化ジフェニルエーテル(PBDEs)の生産量をしのぐ。欧州ではRoHS指令などにより、これまで主要な難燃剤であったPBDEsが規制されているが、一方でHBCDsやTBBPAなど代替物質の使用量の増加とそれに伴う環境汚染が懸念されている。近年、人

体や野生生物中のPCBsやダイオキシンなどの蓄積レベルは経年的に減少傾向にあるのに対し、PBDEsなど臭素系難燃剤の濃度は上昇していることが明らかになった。また、欧米の研究によると、HBCDsは食物連鎖を通じて生物濃縮されることが示唆されているが、国内におけるHBCDsのモニタリング例は皆無である。また、TBBPAについては、使用量が最も多いにも関わらず汚染実態に関する研究自体ほとんど報告されていない。HBCDsおよびTBBPAは、臭素

系難燃剤の中でも今後使用量の増加が予測されており、HBCDs については難分解物質としても監視が求められている(化審法第一種監視化学物質)。そのため、日本の沿岸および陸上生態系におけるこれら臭素系難燃剤による環境汚染の現状把握が急務である。HBCDs には α 、 β 、 γ の 3 種の構造異性体が存在し、これまで異性体別分析が困難であったために、野生生物体内における蓄積・代謝特性についての報告は極めて少ない。

2. 研究の目的

本研究では、新規環境汚染物質である HBCDs および TBBPA による環境汚染の実態解明に関して、以下の 4 点を目的とした研究を計画した。

- (1) HBCDs および TBBPA の微量分析法確立
- (2) 海棲高等動物の保存試料を用いた汚染の過去復元
- (3) 海洋および陸上生態系における蓄積特性の解明

3. 研究の方法

(1) 微量分析法の確立

HBCDs は熱により異性体変化を起こしてしまうため、従来のガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)では異性体別分析は困難であり、本研究では高速液体クロマトグラフ-タンデム質量分析計(LC-MS/MS)を適用することでこの問題を克服した。LC-MS-MS はこのような熱安定性の低い物質の分析に適している反面、試料中の夾雑物質によって目的成分のイオン化が抑制されて検出が困難になる場合がある。この現象を回避するため、本研究では生体試料の前処理に効果が高いゲル浸透クロマトグラフィーについて、数種の充填剤や溶媒を検討し、生体試料中 HBCDs を含む臭素系難燃剤のルーチン分析に最適な前処理法を構築した。本申請課題では、この分析法をさらに改良し、TBBPA についても同時に測定可能な手法へと発展させた。

(2) 海棲高等動物の保存試料を用いた汚染の歴史変遷の再現と将来予測

確立した分析法をもとに、主に海棲哺乳類を対象として、生態系高次生物の HBCDs、TBBPA 汚染について調査した。野生生物試料の入手には、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)を活用した。es-BANK には、キタオットセイやカズハゴンドウなど複数の種について、数十年前から日本沿岸で継続的に採取した試料が保存されている。本研究では、これらを分析し、生産量の経年変化等と比較することで、過去から現在に至る臭素系難燃剤汚染の歴史変遷を復元し、将来に渡る汚染の経時変化を予測した。

(3) 海洋および陸上生態系における蓄積特性の解明

es-BANK に保存されている生物試料を利用して、

栄養段階高次から低次の生物まで幅広く分析し、HBCDs および TBBPA の食物連鎖を通じた生物濃縮性について明らかにした。海洋生態系については、プランクトンから小型魚類、鳥類、大形魚類、海棲哺乳類を対象とした。また、陸上生態系については、げっ歯類やタヌキなどの他に、ヒトについても分析した。とくに、陸上生物については HBCDs および TBBPA の蓄積に関する報告はこれまでに全くないため、陸上生態系におけるこれらの物質の蓄積特性や曝露経路を解明することが重要である。多様な食性・生息域・栄養段階の生物に蓄積するこれらの新規臭素系難燃剤と、PBDEs など既存の汚染物質の分析結果と比較することによって、生態系における挙動や種間差、陸海における汚染経路の違いなどについて考察した。野生生物試料の採集・分析には多大な労力と時間がかかるため、これまでの多くの研究において、対象生物種や調査地域、対象物質が限定されてしまうという問題があった。es-BANK には世界各地から長年に渡って収集した豊富な生物試料が保存されており、汚染物質の地理的濃度分布や体内分布、生物濃縮、代謝特性等についてグローバルかつ比較生物学的な研究を行う上で非常に有利である。

4. 研究成果

(1) 微量分析法の確立

試料の精製・分画法を改良することで、HBCDs と TBBPA を高速液体クロマトグラフ-タンデム質量分析計(LC-MS/MS)で同時に検出可能な簡便かつ高感度分析法を開発した。定量下限、添加回収率、再現性とといった分析精度の検討後、共通試料を分析して定量値の信頼性を確認した(Table 1)。

ng/g lipid	This study (n=4)		Reported concentrations				
	avg	sd	n**	avg	sd	min	max
2,4,4'-TrBDE (#28)	26	0.6	10	29	4.8	23	38
2,2',4,4'-TeBDE (#47)	200	6	10	200	40	110	250
2,2',4,4',5'-PeBDE (#99)	31	0.4	10	33	5.5	23	43
2,2',4,4',6'-PeBDE (#100)	32	0.9	10	35	5.0	27	42
2,2',4,4',5,5'-HxBDE (#153)	81	2	10	84	9.5	67	100
2,2',4,4',5,6'-HxBDE (#154)	98	6	10	110	24	58	140
2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE (#183)	6.3	0.1	10	6.7	1.5	5.4	10
HBCD	78	3	2	94		77	110

* blubber samples of finless porpoises from Japan coast
** number of participated institutes

(2) 海棲高等動物の保存試料を用いた汚染の歴史変遷の再現と将来予測

es-BANK の保存試料、すなわち 1982 年および 2001 年に日本沿岸に集団座礁したカズハゴンドウ (Melon-headed whale, *Peponocephala electra*, n=10)、1978-2003 年に日本沿岸に集団座礁あるいは捕獲されたスジイルカ (Striped dolphins, *Stenella coeruleoalba*, n=20)、1990 年および 2000/01 年に中国南部沿岸で混獲されたスナメリ (Finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, n=12) の脂肪組織を分析して供試

した。本研究により、臭素系難燃剤(BFRs)による東アジア地域の環境汚染の広域化と歴史トレンドが明らかになった。既に規制の進んでいる既存の POPs と異なり、BFRs による汚染レベルは上昇傾向が認められた。日本沿岸や近海の BFRs 汚染は、その国内使用実績を反映して 1990 年代中盤以降は PBDEs よりも HBCDs の汚染レベルの上昇が顕著であった。スジイルカの保存試料の分析の結果 (Fig. 1)、DDTs および HCHs については、調査対象期間 (1978-2003 年) を通じてわずかながら減少する傾向が認められた。それに対して CHLs 濃度は上昇傾向を示し、国内での使用規制の遅れ、および途上国における使用の継続を反映していると考えられた。PCBs は明確な低減が認められず、国内あるいは周辺諸国からの環境負荷が今なお継続していることを示唆している。一方、PBDEs および HBCDs 濃度はいずれも期間を通じて有意な上昇傾向を示した。とくに、HBCDs は 1992 年以前の試料では PBDEs よりも低濃度を示したにもかかわらず、2003 年の試料では PBDEs に比べやや高値で検出された。HBCDs の使用量は今後増加することが予想されるため、継続的な環境モニタリングが必要と考えられる。一方南シナ海沿岸では、PBDEs による急激な汚染の進行が示唆された。途上地域の HBCDs 汚染の現状は低レベルで推移しているが、今後 PBDEs の代替として利用が進み、環境汚染が拡大することも予想されるため、継続的なモニタリングが必要である。

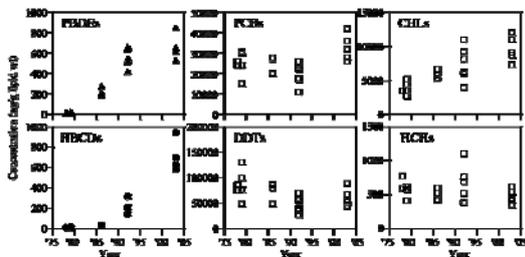


Fig. 1. Temporal trends in concentrations of organohalogen compounds in blubber of striped dolphins from Japan.

(3) 海洋および陸上生態系における蓄積特性の解明

陸上生物の汚染実態を解明するため、es-BANK に保存されていた、タヌキ (*Nyctereutes procyonoides*) 39 検体 (愛媛県 21 検体、神奈川県 10 検体、大阪府 8 検体)、イヌ (*Canis lupus familiaris*) 15 検体 (大阪府)、ネコ (*Felis silvestris catus*) 5 検体 (愛媛県)、イノシシ (*Sus scrofa*) 5 検体 (愛媛県)、アライグマ (*Procyon lotor*) 5 検体 (北海道) の肝臓を化学分析に供試した。本研究で分析に供試したほとんどの試料から BFRs が検出され、これらの物質による日本の陸上生態系汚染の広域化が明らかとなった (Fig. 2)。HBCDs は大半のイヌ

試料で検出下限未満であり、イヌの代謝力の強さを反映した結果と推察される。イヌ以外の種では、ヒトや海棲哺乳類の報告値と同等の濃度が検出された。神奈川で採取されたタヌキや北海道で採取されたアライグマでは α -HBCD が優占していたが、他の種では検体による組成のばらつきが大きく、 γ -HBCD が優占する検体も観察された。工業製剤中では γ -HBCD が大部分を占めることから、これらの結果は常在的・継続的な HBCDs の暴露を示唆している。今回供試した陸棲哺乳類は種数が限られており、BFRs による陸上生態系汚染の態様を包括的に理解するには、動物種や調査地域を拡大することが必要である。

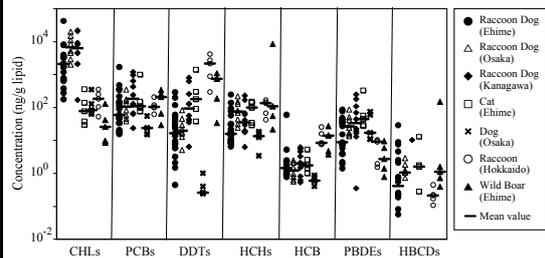


Fig. 2 Concentrations of organochlorines (CHLs, PCBs, DDTs, HCHs, HCB) and brominated flame retardants (PBDEs, HBCDs) in terrestrial mammals from Japan.

海洋生態系における生物濃縮の態様を明らかにするため、宮城沖で 14 種、北カリフォルニア沖で 9 種の魚類・甲殻類・頭足類試料を採取し、化学分析に供試した。また、それぞれの海域で動物プランクトンも採取・分析した。分析に供した全ての試料から PCBs、PBDEs、HBCDs が検出され、これらの物質による外洋生態系の広域汚染が明らかとなった。対象物質のなかでは PCBs が最も高い濃度を示し、そのレベルは宮城沖・北カリフォルニア沖の両海域で同程度の値が得られた。BFRs の場合、宮城沖では HBCDs 濃度の方が PBDEs より高値を示したのに対し、北カリフォルニア沖では逆の傾向が観察された。これは、日本とアメリカにおける臭素系難燃剤の使用実績の違いを反映していると考えられる。また、生態系構造の違いが化学物質の生物濃縮特性に及ぼす影響を明らかにするため、PCBs、PBDEs、HBCDs 濃度と $\delta^{15}N$ を用いて算出した栄養段階 (TL) の関係を解析した。その結果、宮城沖の生物については各物質濃度と TL の間に有意な正の相関関係が認められ、食物連鎖を通じた生物濃縮が示唆された。さらに、これら物質の各異性体濃度と TL の回帰直線の傾きを食物連鎖による濃縮係数 (Trophic magnification factor: TMF) と定義し、脂溶性の指標オクタノール-水分配係数 (log KOW) との関係性を解析した。その結果、既存の報告と同様

に、log KOW が 5-7 の PCB 異性体については TMF が脂溶性依存的な上昇傾向を示した。PBDE 異性体も、PCBs 同様に脂溶性依存的な濃縮率の増加が認められたものの、一部の異性体では PCBs とは異なるパターンが認められた。例えば、BDE-99 は log KOW から予測された TMF よりも低値であり、生体内における代謝や脱臭素の影響が推察された。一方で、カリフォルニア沖の生態系では、TL と BFRs・PCBs 濃度の間に関係は認められなかった。湧昇域の生態系は相対的に栄養段階数が少ないため、食物連鎖による生物濃縮が顕著でないと推察された。

本研究により、陸上および海洋生態系における BFRs および POPs の生物濃縮の態様とその地域差が明らかとなった。化学汚染の生態影響やリスクを正しく評価するには、生態系構造を詳細に解析し、化学物質の生物濃縮特性を適切に理解することが重要と考えられ、本研究で提案したアプローチを今後 POPs 候補物質のモニタリングに適用することが望まれる。

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 17 件)

- ① Isobe, T., Ochi, Y., Ramu, K., Yamamoto, T., Tajima, Y., Yamada, T.K., Amano, M., Miyazaki, N., Takahashi, S., Tanabe, S.; Organohalogen Contaminants in Striped Dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from Japan: Present Contamination Status, Body Distribution, and Temporal Trends (1978-2003); *Marine Pollution Bulletin*; (2009) 58(3), 396-401. (査読有)
- ② Malarvannan, G., Kunisue, T., Isobe, T., Sudaryanto, A., Takahashi, S., Prudente, M., Subramanian, A., Tanabe, S.; Organohalogen compounds in human breast milk from mothers living in Payatas and Malate, the Philippines: Levels, accumulation kinetics and infant health risk; *Environmental Pollution*; (2009) 157(6), 1924-1932. (査読有)
- ③ Devanathan, G., Subramanian, A., Someya, M., Sudaryanto, A., Isobe, T., Takahashi, S., Chakraborty, P., Tanabe, S.; Persistent Organochlorines in Human Breast Milk from Major Metropolitan Cities in India; *Environmental Pollution*; (2009) 157(1), 148-154. (査読有)
- ④ Makara, M., Tajima, Y., Yamada, T.K., Isobe, T., Takahashi, S., Tanabe, S., Shimada, A.; Goiter-Like Changes in the Thyroid Gland of Mass Stranded Striped Dolphins (*Stenella coeruleoalba*); *Journal of Japan Veterinary Medical Association*; (2009) 62(2), 155-160. (査読有)
- ⑤ Agus, S., Kajiwaru, N., Tsydenova, O. V., Isobe, T., Yu, H., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2008): Levels and congener specific profiles of PBDEs in human breast milk from China: Implication on exposure sources and pathways. *Chemosphere*, 73(10), 1661-1668. (査読有)
- ⑥ Hart, K., Kannan, K., Isobe, T., Takahashi, S., Yamada, T., Miyazaki, N. and Tanabe, S. (2008): Time trends and transplacental transfer of perfluorinated compounds in melon-headed whales stranded along the Japanese coast in 1982, 2000/2001, and 2006. *Environmental Science and Technology*, 42(19), 7132-7137. (査読有)
- ⑦ Kunisue, T., Higaki, Y., Isobe, T., Takahashi, S., Subramanian, A. 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)
- ⑧ Kunisue, T., Takayanagi, N., Isobe, T., 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)
- ⑨ Xian, Q., Ramu, K., Isobe, T., Sudaryanto, A., Liu, X., Gao, Z., Takahashi, S., Yu, H. and Tanabe, S. (2008): Levels and body distribution of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and hexabromocyclododecanes (HBCDs) in freshwater fishes from the Yangtze River, China. *Chemosphere*, 71(2), 268-276. (査読有)

- ⑩ 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)
- ⑪ Sudaryanto, A., Ramu, K., Isobe, T., Minh, N. H., Agusa, T., Kajiwara, N., Takahashi, S., Iwata, H., Setiawan, I. E., Ilyas, M., Ismail, A., Min, B. Y., Matsumoto, K. and Tanabe, S. (2007): Assessment of brominated flame retardants in sediments from Asia: levels, profiles and temporal trends. *Organohalogen Compounds*, 69, 2744-2747. (査読有)
- ⑫ Isobe, T., Takayanagi, N., Kunisue, T., Nakatsu, S., Tsubota, T., Okumoto, K., Bushisue, S., Shindo, K., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2007): Brominated flame retardants in raccoon dogs from Japan - a monitoring survey of wild terrestrial mammals. *Organohalogen Compounds*, 69, 2732-2735. (査読有)
- ⑬ Tanabe, S., Ramu, K., Isobe, T., Kajiwara, N., Takahashi, S., Jefferson, T. A. and Yamada, T. K. (2007): Levels and temporal trends of brominated flame retardants (PBDEs and HBCDs) in Asian waters using archived samples from *es*-BANK, Ehime University, Japan. *Organohalogen Compounds*, 69, 500-503. (査読有)
- ⑭ Ramu, K., Kajiwara, N., Isobe, T., Takahashi, S., Miyasaka, H., Kubodera, T. and Tanabe, S. (2007): Organohalogen compounds in deep sea organisms from East China Sea: levels, profiles, and fate. *Organohalogen Compounds*, 69, 437-440. (査読有)
- ⑮ Sudaryanto, A., Isobe, T., Agusa, T., Takahashi, S., Iwata, H., Nakamura, S., Takizawa, S. and Tanabe, S. (2007): Levels and distribution of organochlorine compounds and brominated flame retardants in fish from Laos. *Organohalogen Compounds*, 69, 55-58. (査読有)
- ⑯ Kunisue, T., Takayanagi, N., Isobe, T., Takahashi, S., Nose, M., Yamada, T., Komori, H., Arita, N., Ueda, N. and Tanabe, S. (2007): Polybrominated diphenyl ethers and persistent organochlorines in Japanese human adipose tissues. *Environment International*, 33(8), 1048-1056. (査読有)
- ⑰ Isobe, T., Ramu, K., Kajiwara, N., Takahashi, S., Lam, P. K. S., Jefferson, T. A., Zhou, K. and 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)
- [学会発表] (計 11 件)
- ① 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. (2008): Contamination status of brominated flame retardants (BFRs) in Baikal seals (*Pusa sibirica*). Interdisciplinary Symposium on Environmental Sciences, To Establish an Asian Network of Environmental Researchers, Matsuyama, Japan, 2008年11月11-13日, Abstract Book, 82.
- ② 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. (2008): Contamination status of brominated flame retardants (BFRs) in Baikal seals (*Pusa sibirica*). 28th International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (POPs), Birmingham, United Kingdom, 2008年8月17-22日, Abstract CD, 1486-1489.
- ③ Isobe, T., Oda, H., Takayanagi, N., Kunisue, T., Nose, M., Yamada, T., Komori, K., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2008): Accumulation of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecanes in mesenteric adipose tissue of Japanese. 5th SETAC World Congress, Sydney, Australia, 2008年8月3-7日, Abstract CD.
- ④ Isobe, T., Kunisue, T., Takayanagi, N., Nakatsu, S., Tsubota, T., Asakawa, M., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2008): Contamination by brominated flame retardants in some wild and pet terrestrial mammals from Japan. 5th SETAC World Congress, Sydney, Australia, 2008年8月3-7日, Abstract CD.
- ⑤ 磯部友彦・越智陽子・山本貴仁・高橋 真・田辺信介 (2008): 愛媛県興居島に座礁したスジイルカ (*Stenella coeruleoalba*) の有機ハロゲン化合物汚染の実態と過去復元, 日本セトロジー研究会第19回(金沢)大会, 金沢市, 2008年6月14-15日, 発表要旨集, 23.

- ⑥ 磯部友彦・国末達也・高柳 望・中津 賞・坪田敏男・浅川満彦・奥本啓祐・武士末純夫・進藤三幸・高橋 真・田辺信介 (2008): 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 11-13 日, 講演要旨集, 50-51.
- ⑦ 磯部友彦・小田裕子・高柳 望・国末達也・能勢真人・山田健人・小森浩章・有田典正・上田規史・高橋 真・田辺信介 (2008): ヒト脂肪組織中のヘキサブロモシクロドデカン, 第 17 回環境化学討論会, 神戸市, 2008 年 6 月 11-13 日, 講演要旨集, 530-531.
- ⑧ Isobe, T., Oda, H., Takayanagi, N., Kunisue, T., Nose, M., Yamada, T., Komori, H., Arita, N., Ueda, N., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2008): Polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecanes in Japanese human adipose tissues. International Symposium on Biological responses to Chemical Pollutants: Toward Establishing an Asian Network of Environmental Toxicology, Matsuyama, Japan, 2008 年 3 月 6-8 日, Abstract Book, 68.
- ⑨ Isobe, T., Takayanagi, N., Kunisue, T., Nakatsu, S., Tsubota, T., Okumoto, K., Bushisue, S., Shindo, K., Takahashi, S. and Tanabe, S. (2007): Brominated flame retardants in raccoon dogs from Japan – a monitoring survey of wild terrestrial mammals. DIOXIN 2007 International Symposium, Tokyo, Japan, 2007 年 9 月 2-7 日, Abstracts Book, 123.
- ⑩ 磯部友彦・越智陽子・Ramu, K.・山本貴仁・高橋 真・田辺信介 (2007): 有機塩素化合物および臭素系難燃剤によるスジイルカの汚染実態と蓄積特性, 第16回環境化学討論会, 北九州市, 2007 年 6 月 20-22 日, 講演要旨集, 156-157.
- ⑪ Isobe, T., Ochi, Y., Ramu, K., Yamamoto, T., Takahashi, S., Tanabe, S. (2007): Contamination Status and Body Distribution of Organohalogen Compounds in Striped Dolphins (*Stenella Coeruleoalba*) Stranded at Gogo-shima Island, Matsuyama, Japan. 4th International Workshop on Brominated Flame Retardants, 2007 年 4 月 24-27 日, Amsterdam, The Netherlands, Abstract CD
- [産業財産権]
○出願状況(計 0 件)
○取得状況(計 0 件)
[その他]
6. 研究組織
(1)研究代表者
磯部 友彦 (ISOBE TOMOHIKO)
愛媛大学・上級研究員センター・上級研究員
研究者番号:50391066
- (2)研究分担者
なし
- (3)連携研究者
なし
- [図書](計 1 件)
① 鈴木聡編著、東海大学出版会、分子で読む環境汚染、2009 年、2-37.