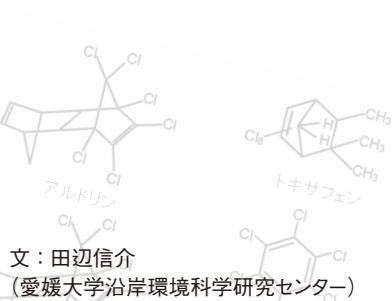


特集

海洋生態系を蝕む 化学汚染



我々人間は便利で快適な生活を追い求め、次々と化学物質を製造し使用してきた。

「環境ホルモン」という言葉が生まれ、その生態系への影響が認識されてから10年以上が過ぎた現在、状況は改善されてきているのだろうか？

今回の特集では、化学物質による海洋環境汚染の現状と、最新の研究により明らかになり始めた新たな問題について、愛媛大学の田辺信介教授にご報告いただいた。

厄介な化学物質

残留性有機汚染物質 (POPs)

環境省が長年実施している「海洋環境モニタリング調査」の最近の報告によると、わが国周辺海域にホットスポット（有害物質の特定汚染海域）が存在することが指摘されている。紀伊水道周辺海域では数千メートルの海底質から高濃度のPCBs（ポリ塩化ビフェニール）が検出され、1970年頃から近年まで継続的な負荷があったことを示す調査結果も得られている。さらに、紀伊・四国沖の廃棄物等海洋投入処分海域では底質から高濃度のブチルスズおよびフェニルスズ化合物が、また日本海西部の投入処分海域でも高濃度のブチルスズ化合物が検出されている。有害物質による海洋汚染は産業革命以来顕在化し、ホットスポットの存在や生物の大量へい死などその広域化と影響を示唆する事件が今なお世界の海域で発生している。

化学物質の中でヒトや生態系にとって厄介なものは、毒性が強く、生体内に容易に進入し、そこに長期間とどまる物質であろう。こうした性質を持つ化



学物質の代表に、PCBs やダイオキシン類 (PCDDs、PCDFs) など残留性有機汚染物質 (POPs : Persistent Organic Pollutants) と呼ばれる生物蓄積性の有害物質があり、20世紀中盤以降大きな社会的関心を集めてきた。

国連環境計画 (UNEP) は、2001年5月にスウェーデンのストックホルムで締約国会議を開催して長距離移動性や環境残留性の高いPOPsを

対象に削減や廃絶に向けた国際条約「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (POPs条約)」の締結を提案し、2004年5月17日に発効した。現在条約に登録されているPOPsは、アルドリン、エンドリン、ヘプタクロル、ディルドリン、DDT、クロルデン、トキサフェン、マイレックス（殺虫剤）、PCBs、ヘキサクロロベンゼン（工業用材料）、PCDDs、PCDFs（非意図的生成物質）の12物質（群）で、これらの製造・使用・輸出入の規制、

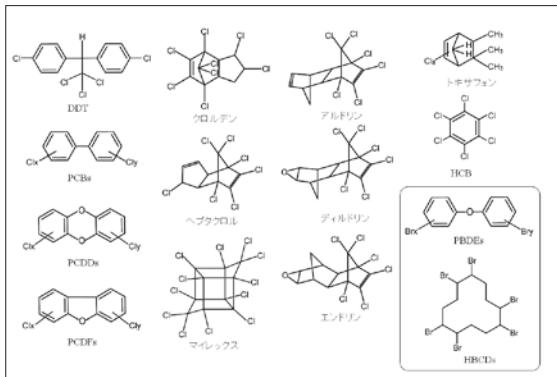
図1

図1: POPsおよび代表的なPOPs候補物質の化学構造

非意図的生成の削減、廃棄物の適正管理等が締約されている。POPs条約については定期的な見直しが定められており、有機臭素系難燃剤のポリ臭素化ジフェニールエーテル(PBDEs)やヘキサブロモシクロドデカン(HBCDs)など9種類(12物質)が条約の付属書に追加されPOPs候補物質としてリストアップされている。POPsおよびその候補物質(図1)は代表的な地球汚染物質であり、その防止対策の強化が国際レベルで求められている最も厄介な化学物質といつてよい。

瀬戸内海の汚染から 地球規模の汚染へ

1960年～70年代はPOPsによる公害事件や深刻な環境汚染が世界各地で頻発し、先進諸国を中心にその生産と使用の規制が法制化された時代であった。また、汚染実態解明のための環境モニタリングが本格的に開始され、人間活動や産業活動の活発な地域を中心に局所汚染の実態が次々と明らかにされた。瀬戸内海をモデルにした筆者ら

の研究により、PCBsやDDTsなど分解されにくく脂溶性で粒子吸着性の高いPOPsの汚染は、堆積物や生物で著しいことが明らかとなった。一方で、沿岸域におけるPOPsの環境負荷量が意外に少ないとから、大気や水経由で長距離輸送され地球規模で拡散した可能性も示唆された。

1980年代になると先進国だけでなくアジアを中心に途上国の調査も実施し、DDT等農薬汚染の主な発生源は熱帯・亜熱帯の途上国にあること、一方PCBなど工業用材料として利用された化学物質の汚染源は先進工業国や旧社会主義国に存在することを、二枚貝のイガイ(図2)やヒトの母乳など生物を指標とした研究で明らかにした。こうした地域固有の発生源は渡り鳥のPOPs汚染にも反映され、先進国や旧社会主義国を渡りのルートとしている鳥類はPCBsの汚染レベルが高く、途上国を中継地や越冬地とする鳥種はDDTsなど殺虫剤の汚染が顕在化している。さらに、POPs候補物質として注目されている

有機臭素系難燃剤PBDEs(ポリ臭素化ジフェニールエーテル)の汚染研究が最近になって始まり、この物質の大きな発生源は先進国だけでなく途上国にも存在しグローバルな汚染を引き起こしていることが魚介類や鯨類の分析で明らかとなった(鯨類の分析例を図3に示す)。

上述した発生源の調査に加え、地球規模での分布やゆくえに関する研究も併せて実施し、POPsによる汚染は南極や北極を含む地球の隅々まで広がったこと、海洋とくに冷水域の海水はこの種の物質のたまり場として機能することなどを、大気、水、生物試料の分析結果より示唆した。また、深層水や深海生物の分析により、POPsの汚染は南極や北極などの遠隔地だけでなく、海洋の深層にまで到達したことを実証した。さらに、ダイオキシン類の広域汚染についても調査を実施し、PCBsは大気や水により輸送されやすい地球汚染型の物質であるが、PCDDsやPCDFsは局在性が強いため地域汚染型の物質であることをカツオを生物指標にした研究で示した。また、PCBsやDDTsと同様に、ダイオキシン類の汚染源も北

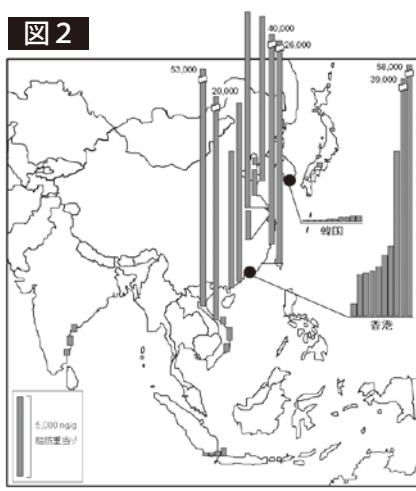
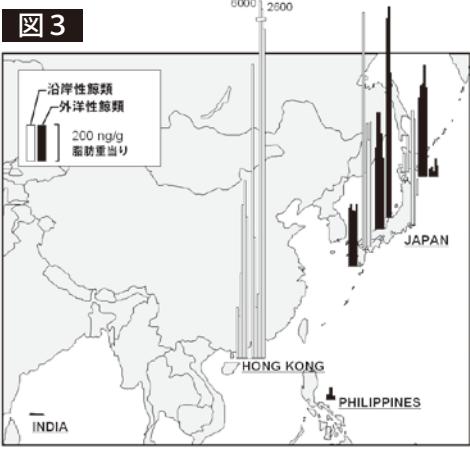
図2

図2: 二枚貝イガイから検出された殺虫剤DDT(代謝物を含む)の濃度分布

図3図3: アジア地域で採取した
小型ハクジラ類のPBDEs蓄積濃度

Kajiwara et al. (2006)

半球に集中していることがアホウドリ試料の分析により明らかになった（図4）。さらに、アジア途上国の調査もすすめ、都市郊外に遍在するゴミ集積場にダイオキシン類の大きな発生源が存在することを、土壤やヒト母乳の分析により立証した。

このように多数のPOPsが多様な環境試料や生物試料から検出された事実は、化学分析の技術が急速に進歩したことに加え、この半世紀の間に化学物質の生産や利用が著しく増大し、その環境汚染も世界中に拡大したことを示している。また、気温の高い熱帯・亜熱帯地域で、今なお一部のPOPs系殺虫剤の利用が継続していることも要因としてあげられる。これまでの研究を通して、熱帯・亜熱帯地域における化学物質の無秩序な利用は地球規模の環境汚染を引き起こしやすいうこと、海はこの種の物質の大きなまり場として機能すること、とくに冷水域はPOPsの最終的な到達点となることなどが明らかとなった。すなわち、POPsの発生源と到達点は異なること、したがってその影響も予期せぬところで発生する可能性があること、POPsによる汚染は二酸化炭素による地球温暖化やフロンガスによるオゾン層破壊と同列の地球環境問題である。

ることが結論される。

海洋生態系の曝露リスク

POPsはヒトや多様な野生生物から検出されているが、海洋生態系の高次生物でみられる汚染レベルは異常に高い。例えば、西部北太平洋に分布するスジイルカは、海水の1千万倍以上の濃度でPCBsやDDTsを体内に濃縮している。スジイルカだけでなく海洋生態系の頂点にいる他のハクジラ類、海鳥類などの野生生物もきわめて高い濃度でPOPsを体内に蓄積しており、陸上生物の蓄積パターンと明らかに異なる（PCBsの例を図5に示す）。この原因を究明するため、海棲哺乳動物を対象に多様な研究を展開したところ、体内にPOPsの大きな貯蔵庫（皮下脂肪）が存在すること、授乳によるPOPsの母子間移行量が大きいこと、POPsを分解する酵素系が一部欠落していることなどが判明した。また、ダイオキシン類、PCBs、DDTsなどによる薬物代謝酵素の誘導、性ホルモンの阻害、免疫機能の攪乱など毒性影響を示唆する研究結果も得られ、海棲哺乳動物はPOPsのリスクが最も高い生物種、すなわちハイリスクアニマル



愛媛大学の生物環境試料バンク(es-BANK)

であることが推察された。

汚染の推移と将来予測

愛媛大学沿岸環境科学センターの生物環境試料バンク(es-BANK)には、過去半世紀にわたり世界各地から収集した約1300種類、10万点の生物試料・環境試料が冷凍保存されている。保有する試料の種類と数の膨大さ、半世紀におよぶ採取期間と地球規模での広がりをもつ採取地域等の点において、当es-BANKは世界を凌駕する施設として評価され、ここに保管されているアザラシ、オットセイ、鯨類などの試料を活用して、地球規模での海洋汚染の広がりや過去の汚染の復元・将来予測、リスク評価などの研究が実施されている。これまでの研究により、陸域

図4

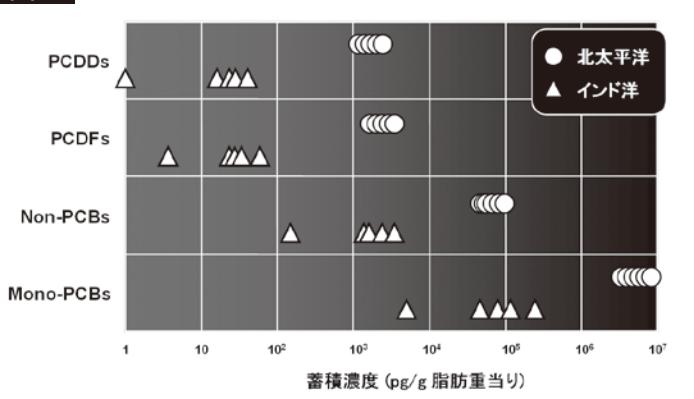


図4: 北太平洋(北半球)およびインド洋(南半球)で採取したアホウドリのダイオキシン類蓄積濃度

図5

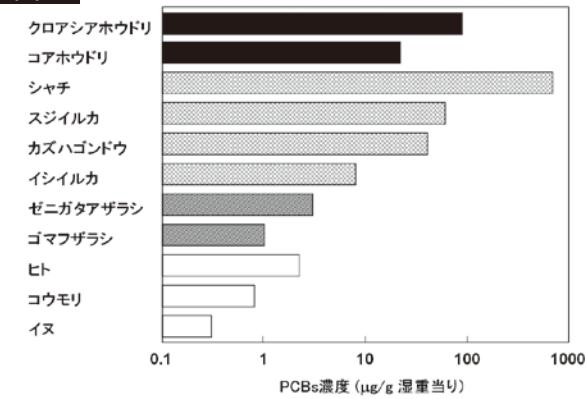


図5: 日本の陸域および海域に棲息する高等動物のPCBs蓄積濃度



es-BANKの冷凍室(約400m³, -25°C)

の POPs 汚染は経年的に減少しているが、外洋や南極など遠隔地の汚染はほとんど低減していないことが判明した。また、日本沿岸で採取されたスジイルカの保存試料を用いて、今なお使用が続いている有機臭素系難燃剤(PBDEs や HBCDs)汚染の経年変化を調べたところ、1980 年代以降濃度の横ばい状態がみられる既存の POPs (PCBs や DDTs) と異なり、これら POPs 候補物質の汚染レベルは上昇傾向を示した(図6)。

こうした過去の汚染の復元は、海洋生態系における POPs およびその候補物質の暴露と影響が今後しばらく続くことを暗示しており、モニタリング調査の継続と効果的な低減対策が必要なことを示している。

今後の課題

前述したように、野生の高等動物には、ヒトではみられない特異な汚染や生理機能があり、このことはヒトを中心の環境観では生態系は守れないことを教えている。鯨や鳥の POPs 汚染がヒトとは無縁であるとする考え方には、もはや地球環境時代に馴染まない。「野生生物でみられる POPs の汚染と影響は、ヒトへの警鐘である」、すなわち化学物質のリスクから生態系を守ることはヒトに対する安全性の確保にも繋がるという基本理念を育て、生態系本位の環境観を社会に定着させることが今後の大きな課題であろう。将来人間の健康に影響を及ぼす可能性がある問題として、海洋生物の汚染や異常を考える必要がある。

また、先進国だけでなく途上国でも POPs 汚染は顕在化しており、今後さらに深刻化することが予想されるため、地球環境問題の重要課題と位置づけ POPs 条約を適切に履行するなど国際対応をすすめる必要がある。途上国の POPs 問題を解決するには、先進国の国際協力や支援が不可欠であり、アジア地域においてわが国の国際貢献が問われるることはいうまでもない。

図6

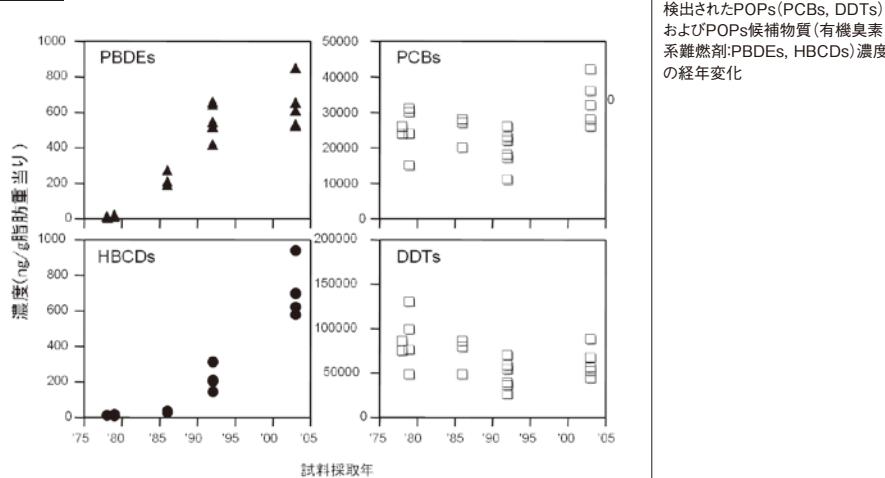
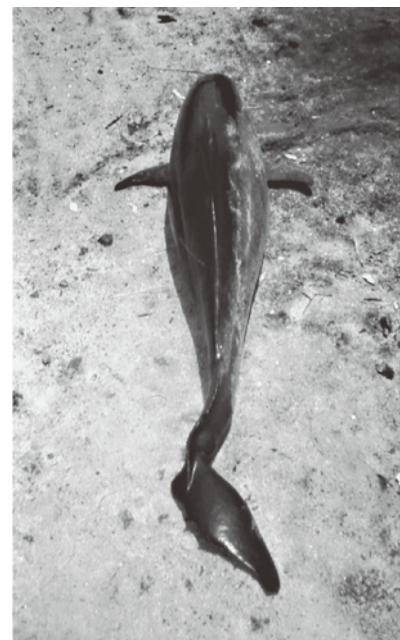


図6: 日本沿岸のスジイルカから検出されたPOPs(PCBs, DDTs)およびPOPs候補物質(有機臭素系難燃剤:PBDEs, HBCDs)濃度の経年変化



イルカの尾ひれの奇形(忍び寄る化学汚染のリスク?)



田辺 信介
たなべ しんすけ

愛媛大学沿岸環境科学研究所教授。
大分県別府市出身。愛媛大学大学院修士課程終了。農学博士(名古屋大学)。有害物質による地球規模の環境汚染と生態影響について研究。グローバルCOE「化学物質の環境科学教育研究拠点」拠点リーダー。著書に「環境ホルモンー何が問題なのかー」、「環境ホルモンの最前線」、「Bioindicators of POPs – Monitoring in Developing Countries –」、「分子で読む環境汚染」など。
主な受賞「日産科学賞」、「ISI引用最高栄誉賞(環境化学分野)」、「2005 SETAC (北米環境毒性学会) Founders Award 国際賞」、「SETAC / Menzie-Cura Environmental Educational Award 国際賞」など。



爆笑問題のニッポンの教養
「FILE058: 万物は汚れている」に出演
(平成21年1月20日、NHK総合放映)