フェリーを利用した有害化学物質による海洋汚染の観測

功刀正行*・原島　省*・藤森一男**・中野　武**

*国立環境研究所
**兵庫県立公害研究所

要旨：商船に搭載するための連続濃縮捕集システムを開発し、本システムを用いて同一海域を頻繁に航行するフェリーを観測プラットフォームとする有害化学物質による海洋汚染観測態勢を確立した。観測は、大阪湾と那覇新港を航海するフェリー「くろしお」において1996年12月から1998年2月に、またフェリー「さんふらわあいぼり」において1998年12月から2000年3月に実施した。同一海域を高頻度に観測することにより、有害化学物質による海洋汚染の動態の把握と解析を行った。観測結果から、海洋における有害化学物質による海洋汚染の動態の把握には高頻度の観測が不可欠であること、HCHs、クロルデン類を観測することにより観測地点・時点で支配的な起源推定が可能であることが明らかとなった。

キーワード：有害化学物質、POPs、HCHs、VOS

1．はじめに

自然界に存在しない人為起源の有害化学物質による海洋汚染は、それ自身の毒性もさることながら、最近ではホルモンに類似した機能によるいわゆる環境ホルモン（外因性内分泌攪乱物質）として自然生態系への影響が懸念されている。この分野での従来の研究では主にその発生源近傍の沿岸域や閉鎖系水域が対象域となっていた。しかしながら、一旦自然界に負荷されたこうした有害化学物質は様々な輸送過程を経て全球的に拡散・蓄積し思わぬ所で再汚染を引き起こすことが次第に明らかとなって来ている。

一方、こうした有害化学物質による海洋汚染の広域における観測態勢は十分ではなく、沿岸域や閉鎖系水域以外での観測例はきわめて少ない。比較的多い沿岸域などでの観測ですらその頻度は年１回程度でかつある限定された観測地点での結果であり、これらの観測結果から海洋汚染の実態を把握することは難しい。

このように海洋における有害化学物質の汚染動態の把握には、より広範囲かつ密な観測が必要であるが、従来の調査・観測船を中心とする観測態勢はこうした要請には十分に応えられないのが実状である。こうした観測態勢を補完するためにもまたより詳細な解析のためにも、新たな観測態勢の確立が必要とされてきた。同一海域を繰り返し航行する民間の定期運行船舶を用いた観測いわゆるボランタリー・オブザベーション・シップ(Voluntary Obserbation Ships:VOS あるいは Ships of Opportunity)は、こうした目的に威力を発揮できる可能性が高く、海洋観測態勢の強化に期待が大きい。

我々は、1995年から1997年まで大阪－那覇間に就航していたフェリー「くろしお」を、1998年から2000年まで大阪－別府間に就航している「さんふらわあ　あいぼり」に新たに開発した有害化学物質捕集システムを搭載し、従来に比較して高頻度な観測を行うことにより、有害化学物質の動態解明を試み、ＶＯＳが海洋汚染観測および海洋汚染の解明にきわめて有力な手法

であることを明らかにした。

2．方法

2.1　フェリー搭載型連続捕集システムの開発

調査・観測船による試料捕集の場合には、観測地点あるいは試料捕集地点で停泊して実施することが通常であるが、民間の定期運行船では試料捕集の際に停船して行うことは出来ない。したがって、商船利用の場合には何らかの方法で海水を船内に引き込み、運行しながら測定あるいは試料の捕集を実施する必要がある。さらに、海水中の有害化学物質濃度はきわめて低濃度であることが予想されるため、分析可能な濃度まで濃縮することが不可欠である。これらに適合したサンプリング装置が必要であるが、適した装置は市販されていないため、新たに設計制作を行う必要がある。

2.1.1　濃縮捕集方法

海水中特に外洋における有害化学物質の存在量はきわめて微量と予想されるため、分析可能な濃度まで濃縮捕集しなければならない。従来、濃縮捕集には有機溶剤を用いた液液抽出法が用いられてきたが、廃液による２次汚染防止の観点から固相抽出法が採用されるようになってきている。本研究のように大量の海水を処理する必要がある場合はなおさらである。固相抽出剤として、一般に広く使われているイオン交換樹脂、主として大気中の有害化学物質の捕集に用いられているポリウレタンフォーム、および米国EPAの指導のもとに開発された固相抽出用フィルター・エムポアディスクを検討し、コスト、取り扱いの容易さに優れているポリウレタンフォームを選択した。

2.1.2　濃縮捕集システムの開発

捕集システムは海水に常時曝されるため、配管材料は全てSUS316ステンレス製とした。固相抽出剤を充填するカラムも内部鏡面仕上げのSUS316を用い、容量は約210mLとした。フェリー「くろしお」には、カラム20本を設置可能なシステムを設計、制作し搭載した。通水流量は回収率等を検討した結果、毎分1Lの流量で通水時間100分総通水量100Lとした。フェリー「くろしお」に搭載した濃縮捕集システムのブロック図と写真をFigure 1, 2に示す。

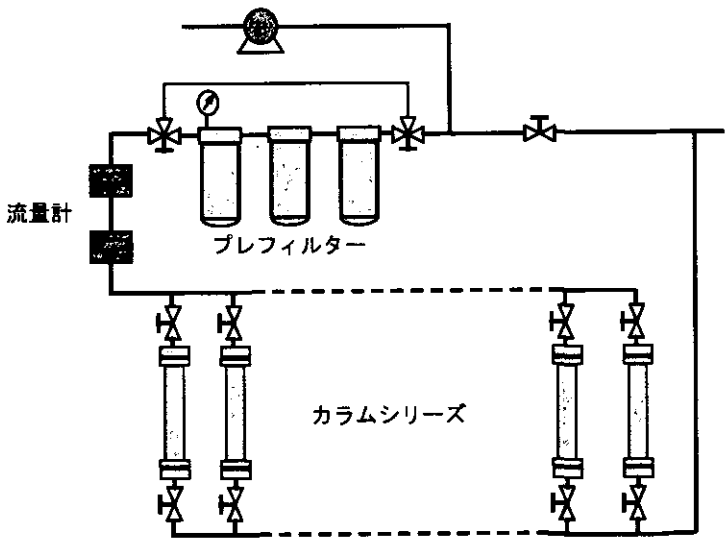


Figure 1. Block diagram of the sampling system on board the ferry "Kuroshiwo".

2.1.3　捕集システムの自動化

新たに開発した固相抽出法による濃縮捕集システムは、海水中の低濃度有害化学物質の観測に十分な能力を発揮することが確かめられた。より汎用性が高く安定したシステムとするためにシステムの自動化を行った。

通水量は、捕集流路内に設

置した積算流量計のパルスを取り出し、プリセットアップダウンカウンタに入力し、予め設定したパルス数(総通水量)に達するとカウントを停止させると同時にリモートI/O部にパルスを出力し、通水用ポンプを停止させる。リモートI/O部は積算(捕集)終了パルスを受け取るとその信号をRS232Cのシリアル信号に変換し、ノートパソコンに伝送する。

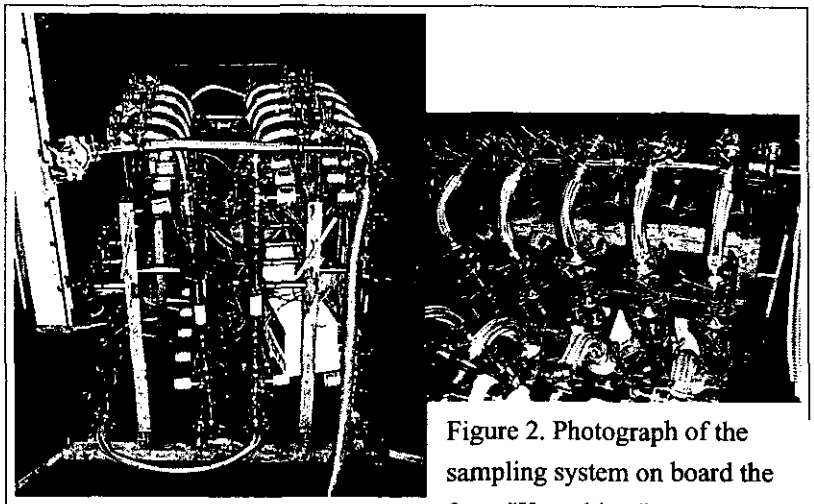


Figure 2. Photograph of the sampling system on board the ferry "Kuroshiwo".

2.1.4 商船搭載型自動濃縮捕集システム

フェリー「くろしお」は、1998年3月をもってその運航を終了した。フェリーを用いた海水中の有害化学物質の観測は有意義な情報を与えることが明らかになったため、広く搭載可能なシステムを制作することは、対象範囲を広げるためにも必要不可欠と考えられた。フェリーは設置場所の確保が比較的容易であったが、他の船舶特にコンテナ船などは設置場所の確保が難しいだけでなく、機材の搬入も搬入口が狭いなど難しい点が多い。したがって、こうした状況にも対応できる新たなフェリーを含む商船に搭載可能な自動濃縮捕集装置を設計、製作した。まず、カラム収納部、ポンプ部、制御部などブロック化を図りかつそれぞれも細かく分解可能とする。接合部は漏洩が少なく取り付けが容易なヘルールとフレキシブルチューブを多用する。これらを考慮して制作したシステムのブロック図と写真をFigure 3, 4に示す。

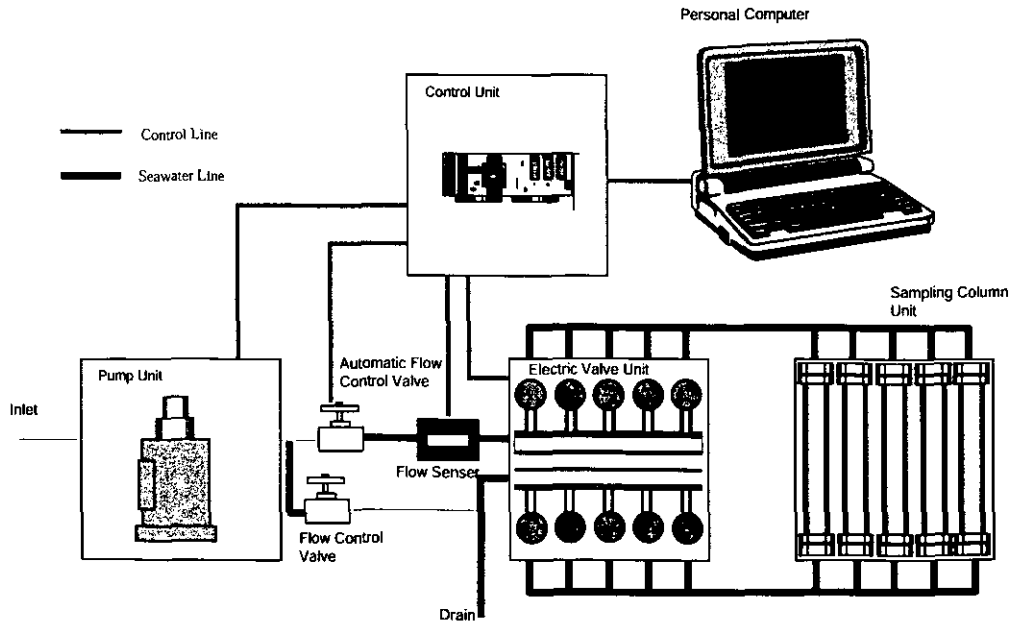


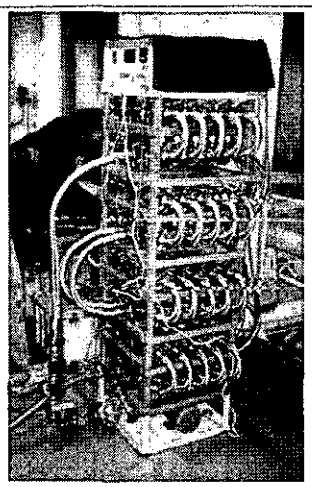
Figure 3. Block diagram of the sampling system on board the ferry "Sunflower Ivory".

なお、各フェリーにおける海水採水システムに関しては、本報告書中の原島らの報文を参照。

2.2　有害化学物質の分析

2.2.1　前処理

捕集に用いるポリウレタンフォームは、メタノール及びアセトンを用いてソックスレー抽出装置により各24時間の精製を行った。精製したポリウレタンフォームは加熱乾燥後アルミホイールで包み、ビニール袋に密閉して保存し、調査直前にカラムに充填した。



Fgure 4. Photograph of the sampling system on board the ferry "Sunflower Ivory".

2.2.2　有害化学物質の分析

濃縮捕集した試料は、以下に示す手順により抽出、濃縮の前処理を施しキャピラリーガスクロマトグラフ質量分析計でSIM法により測定を行った。すなわち、濃縮カラムから取り出した固相抽出剤（PUF）は、アセトンで24時間ソックスレー抽出を行うことにより有機ハロゲン化合物を抽出し、クデルナ・ダニッシュ(K.D.)濃縮器で数mLに濃縮した。精製水1Lを入れた分液ロートに濃縮試料及び塩化ナトリウム50gを添加し、十分混合した後、ヘキサン50mLで２回抽出し、無水硫酸ナトリウムで脱水した後、K.D.濃縮器で1mLに濃縮した後、測定用内標準物質としてHCB13C6及びフルオランテンd12を100ngを添加してGCMS測定用試料とした。

使用したGCはHP-5890A質量分析装置はJEOL JMS-700、カラムにはHP-5(30m)を用いた。測定対象物質およびSIMのモニターイオンは次の通りである。

HCB: 283.8102, 285.8072

p, p'-DDT, p,p'-DDD:235.0081, 237.0053

p,p'-DDE : 246.0003, 247.9975

t-, c-クロルデン : 372.8260, 374.8231

t-, c-ノナクロル : 406.7870, 408.7841

HCH類 : 216.9145, 218.9116

2.3　フェリーを用いた有害化学物質の捕集

2.1に示した海水中有害化学物質捕集装置を、フェリー「くろしお」に設置し、19995年11月および1996年2月に捕集法の評価および試験捕集を実施し、これらの結果をもとに改良を加えた。新たに作成した濃縮捕集装置によりフェリー「くろしお」の大阪－那覇間で、1996年12月5～7日、1997年3月29～31日、1997年9月18～24日および1998年2月12～19日に海水中の有害化学物質の捕集を行った。1997年9月および1998年2月は往復路において実施した。捕集は、神戸出航１時間後から、ほぼ２時間ごとに、流量約1L/minにおいて約100分間、総通水量100Lとし、大阪南港－那覇新港間で16～18試料を捕集した。

フェリー「くろしお」は、1998年3月末日をもって運行を停止したので、1998年12月からは新たに設計し直した商船搭載用自動濃縮捕集システムを瀬戸内海の大阪－別府間に就航するフェリー「さんふらわあ　あいぼり」に搭載し、より高頻度の観測を実施した。観測は、1998年12月、1999年1, 3, 4, 5, 7, 9, 12月、2000年1, 2, 3月の計11回実施した。フェリー「さんふらわあ　あいぼり」は、大阪南港を19:00に出航し、翌朝6:20に別府港着、同日19:00に別府港を出港、

翌朝6:20に大阪南港着のスケジュールで運行されている。サンプリングは、出港直後および入港直前を避け、19:30から1時間おきに行った。サンプリングは、毎分1L/minで総通水量50Lとなった時点で終了し、何らかの原因で通水流量が低下した場合は、55分経過後にサンプリングを終了するようにプログラムした。

また、1999年3月からは、海上大気中の有害化学物質の捕集をあわせて行った。大気中の有害化学物質の捕集には、GRASBY社GPS-1型ミドルボリューム・ポリウレタンフォーム・サンプラーを使用し、捕集用ポリウレタンフォームはEPA指定方法により前処理されたSKC社226-131を用いた。同サンプラーを2台、フェリーのブリッジ屋上に設置し、タイマーにより往路と復路でそれぞれ独立にサンプリングした。吸引流量は280L/minで、10時間捕集した。分析操作は、海水中の有害化学物質の分析と同じである。

なお、各フェリーの航路に関しては、本報告書中の原島らの報文を参照。

3 結果と考察

3.1 フェリー「くろしお」による有害化学物質の観測

フェリー「くろしお」による有害化学物質の観測結果の内α-HCHおよびβ-HCHの全観測データををFigure 5, 6に示す。

これをみると、α-HCHの最高濃度810pg/Lは1998年2月の奄美大島周辺で、最低濃度は1996年12月の大隅海峡（黒潮）であった。一般的な傾向としては、大阪湾およびその近傍では通常高く、黒潮を横切る辺りで最低となるが、それ以外に九州沖や沖縄諸島沖で高濃度が検出され

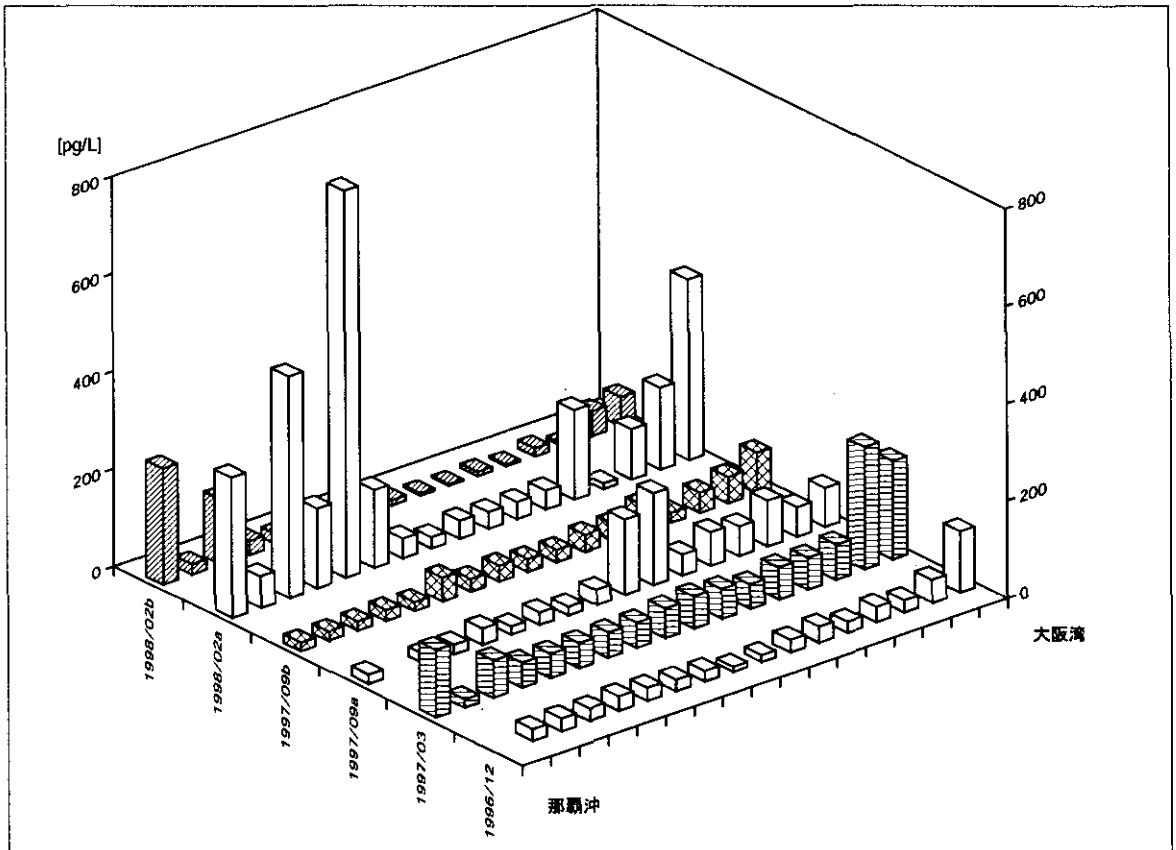


Figure 5. All concentrations of α-HCH observed in the water column between Osaka and Naha.

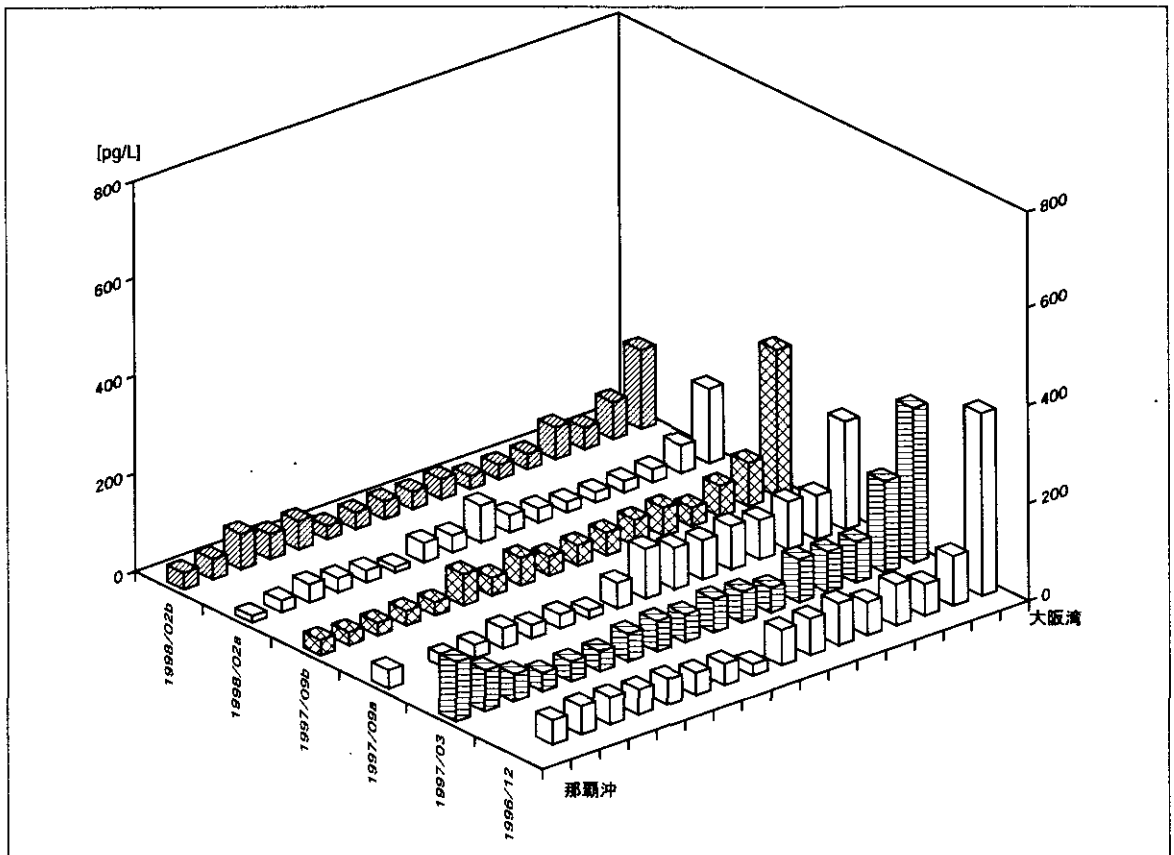


Figure 6. All concentrations of β-HCH observed in the water column between Osaka and Naha.

ることがあり、変動が大きかった。

β-HCHの最高濃度370pg/Lは、1996年12月の大阪湾－紀伊水道で、最低濃度23pg/Lは、α-HCHと同じ1996年12月の大隅海峡であった。β-HCHは、α-HCHのような変動は観測されず、概ね大阪湾およびその近傍が高濃度で次第に濃度が低下し、大隅海峡近傍で黒潮を横切る辺りで最低となり、沖縄諸島周辺でまた若干濃度が上昇する傾向が全観測期間で共通であった。

クロルデンおよびノナクロル類は、多くの観測地点で検出限界以下あるいは検出限界ぎりぎりであったが、一般的な傾向としてクロルデン類が沖縄諸島沖で低濃度であるが検出された。

他のDDTおよびその分解物、HCB類は検出されなかった。

3.2　フェリー「さんふらわあ　あいぼり」による有害化学物質の観測

フェリー「さんふらわあ　あいぼり」において1998年12月から2000年3月までに実施した10観測航海のα-HCH、β-HCHの観測結果をFigure 7, 8に示す。HCH類の各異性体濃度は、α-HCHは検出限界～940pg/L、β-HCHは44～1600pg/L、およびγ-HCHは検出限界～320pg/Lであった。各成分の最大値はα-HCHは1999年4月のサンプリング地点5（塩飽諸島から燧灘付近）、β-HCHは1999年9月のサンプリング地点1（大阪港から明石海峡）、γ-HCHは2000年3月のサンプリング地点19（小豆島から播磨灘周辺）であった。HCH類濃度の一般的な傾向としては、大阪湾で高く、西に行くほど濃度が低下する傾向が見られる。全観測期間を通じて測定結果をみると、1999年9月以降、特にβ-HCHが高濃度に観測される傾向がみられた。一方、α-HCHはβほどはっきりとした傾向は見られなかった。γ-HCHは全体に濃度が低く、検出限界ぎり

ぎりの場合が多いが、1999年5月、9月および2000年3月にほぼ全域で比較的高い濃度で検出された。

クロルデン類、ノナクロル類は多くの観測で検出限界以下であったが、特異的に高濃度に検出される時があった。t-クロルデン、t-ノナクロルともに、1999年5月と9月にはほぼ全観測地点で検出され、特に9月は濃度も比較的高かった。

短期変動（連続する２日間、往路・復路間の変動）は、概ね大きな変動は認められなかった。1998年12月の観測では、濃度および組成比共に各測定域でほぼ同一であった。1999年1月の観測では、前述した流量変動のため、復路の小豆島前後での観測が行えなかったが、来島海峡から別府湾にかけては、ほぼ往路・復路間の変動はみられず、備讃瀬戸および明石海峡付近では、どちらも復路の方が各異性体濃度は共に高くなっていた。1999年3月は、全体に低濃度であり、検出限界に近い濃度でもあることからばらつきが若干多いが、傾向としては復路の方が若干高濃度となっているように見える。1999年4月は、ばらつきが大きく、特にα-HCHの変動が大きい。塩飽諸島付近で全観測を通じて最高濃度を観測した。1999年5月は、各異性体の濃度が全般的にそれまでと比べ高めであったが、変動は少ない。1999年7月は、特に航路の大阪よりでα-HCHが高めであった。1999年9月は、一転して各異性体とも高濃度が観測され、特に大阪よりの地域では高い傾向が見られた。2000年1月は、全域でβ-HCHが高濃度で地点間の変動は小さい。2000年2月もβ-HCHが高い傾向が見られ、この観測時は九州よりでも高濃度が観測された。2000年3月は、各異性体ともに比較的高濃度でβは変動が少なく、γ異性体が高濃度に観測された。

3.3　考察

3.3.1　捕集システム

本研究において開発した連続捕集システムはほぼ順調に稼働したが、今後広範の観測に用いるためには若干の修正が必要と思われる。流量の制御は自動制御を試みたが、概ね設定通りに制御が行えたもののカラム内のつまりなどで極端に流量が落ちた場合には制御不能となるケースがまれにみられた。また、この際ポンプがオーバーヒートによって停止するケースがあったので、こうした場合にに備えて、ポンプ系を２系統用意し交互に運転するなどの対策も必要とされる。さらに、流量が十分に取れない理由の一つにカラムへのポリウレタンフォームの充填に問題がある可能性もあり、ポリウレタンフォームのサイズを含めた充填方法などを考慮すべきと思われる。

3.3..2　フェリー「くろしお」による瀬戸内海から沖縄近海における有害化学物質の動態

海水中のβ-HCH濃度は、瀬戸内海で高く、ついで四国や九州沿岸部が高く、黒潮上で最も低くなり、奄美大島、沖縄近海でまた少し高くなる傾向は各観測でほとんど差が無かった。一方、α-HCHは、概ねその分布はβ-HCHに類似しているものの観測の都度大きな変動が見られた。特に、1997年3月、9月および1998年2月の往路において大きく変動していた。

1997年3月時には、β-HCHと同程度からそれ以上の濃度のα-HCHが各海域で観測された。この観測時は日本の太平洋沿岸を東シナ海から発達しながら低気圧が進み、海上の大時化を避けるために瀬戸内海を通る航路に変更されている。この低気圧は雨はあまり降らせていないことから、大気中に存在するより揮発性の高いα体が、強風により海水との混合が盛んになり大気側から海洋に移行したものと考えられる。一方、β体は沸点が高く大気中の存在量がきわめて低いために変化があまりなかったものと推察される。

1997年9月の観測時は、観測直前に台風19号が九州に上陸し、大雨による被害が各地に出た直後で、台風20号の接近にともない太平洋側は大時化であったため、3月の観測時と同様に瀬戸内海を通る航路となった。この往路時の観測結果をみると3月時と同様にβ体と同程度以上のα体が観測されている場所とそうでない場所がある。九州沿岸域では、大雨により火山灰台地からの大量の土砂により海水が白濁していた。これらの懸濁物質の除去のためにプレフィルターを用いているが、あまりに懸濁物質が多いためにこれに各化学物質が吸着し除去されている可能性が考えられる。そこで、プレフィルターをバイパスしたところ、その直後のサンプルからは高濃度のα体が検出された。β体は、水産庁西海区水産研究所との共同研究（参考文献8、9参照）で実施した東シナ海における有害化学物質の観測結果、すなわち東シナ海では塩分濃度に逆比例、つまり河川水からの負荷が考えられる。しかしながら、この9月時の結果でに明らかに大雨による淡水の影響が考えられるにもかかわらず明確な増加が見られていない。東シナ海における鉛直分布測定の結果、βは深度とともに増加する傾向が見られ、底泥からの回帰が考えられることから、瀬戸内海の高濃度は、過去に底泥に蓄積したものが徐々に回帰しているものと示唆された。

1998年2月の観測結果は、特にα-HCHの濃度変動においてそれまでと大きく異なる結果が得られた。この往路観測時、奄美大島から沖縄本島沖において全観測期間を通じて最高濃度810pg/Lをはじめとする高濃度が検出された。しかしながらβ-HCHは若干高めではあるものの従来の空間的な分布と大きな差異は見られなかった。こうしたことから何らかのイベントがあったものと推察できる。事実、1998年2月は西日本から沖縄の広い範囲で記録的な降雨が記録されており、特に沖縄諸島では軒並み観測史上最高の降雨を記録している。このことから沖縄周辺のα-HCHの高濃度は、記録的な降雨による大気からの負荷と降雨による河川水の増加がその原因と考えられる。一方、β-HCHは大気中にはほとんど存在しないことと使用が禁止されてからかなり時間が経過しており、土壌中の存在量も少ないため、大きな変動を示さなかったものと考えられる。

3.3.3　フェリー「さんふらわあ　あいぼり」による瀬戸内海における有害化学物質の動態

β-HCHの観測結果は、1999年9月以降とそれ以前ではFigure 8に示すように大きな差異が認められる。まず、1999年9月の観測時には大阪湾から燧灘にかけて（図の大阪より4点）HCHの各異性体が高濃度を示している。さらに、若干間が空いたがそれ以降の2000年1月、2月、3月の各観測ともβ-HCHがそれ以前と比較して高濃度であった。1999年度の気象状況を見てみると特徴的なのは台風の当たり年で、発生個数も多く、特に9月は16、18号と相次いで上陸し、17号も九州をかすめた。9月の観測は、この台風18号の通過直後に実施しており、この影響が大きかったものと考えられる。大気中のαおよびγ-HCHが比較的高濃度になっていること(Figure 9)、およびクロルデン、ノナクロル類が他の捕集期間と比較してきわめて高濃度になっていることから、残暑が厳しかった上に度重なる台風の影響で、他地域からの移流も含めて大気からの負荷が多くなったことを示唆している。

海水中のα-HCH（Figure 7)、t-クロルデン、t-ノナクロルの全観測データを見てみると、α-HCHは1999年9月は比較的高濃度ではあるが特異的に高くなっているわけではない。しかしながら、t-クロルデン、t-ノナクロルは明らかに1999年9月に特異的な高濃度を示している。1999年9月は複数の台風が日本を襲ったことが大気中の高濃度（Figure 10）の原因であり、また海水中の高濃度の原因でもあることを明確に示している。一方、2000年3月にも9月ほどではない

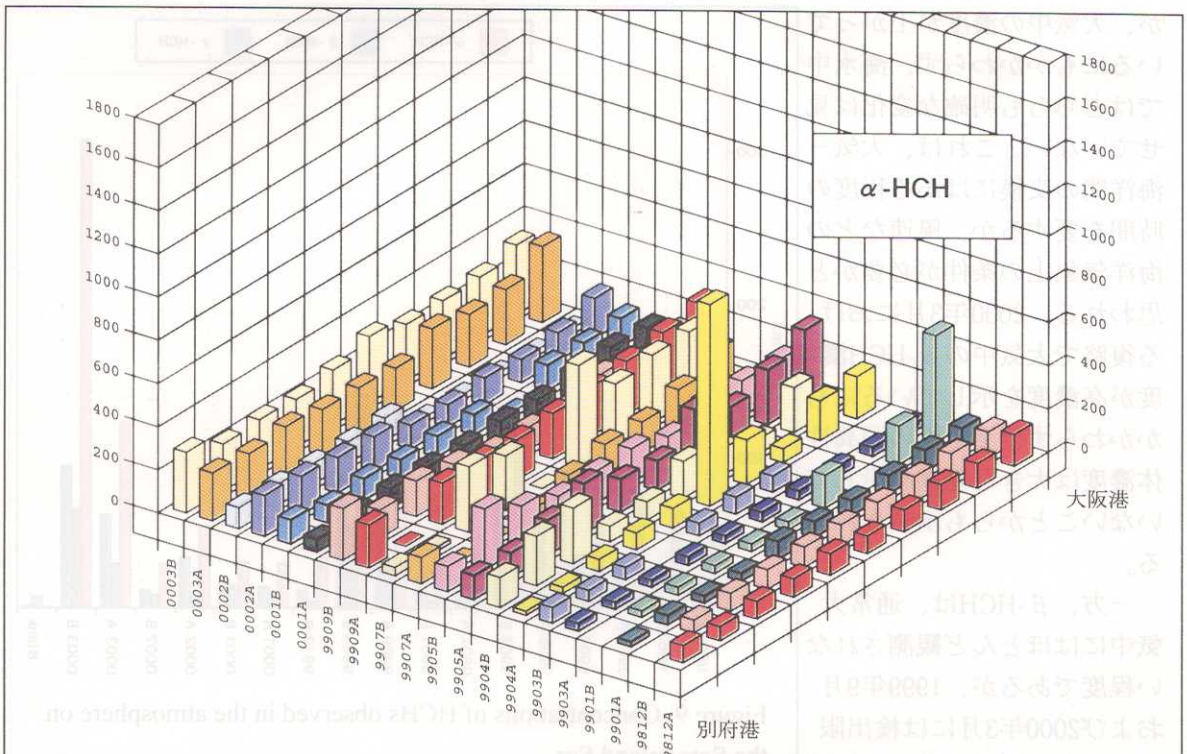


Figure 7. All concentrations of α-HCH observed in the water column in the Seto Inland Sea.

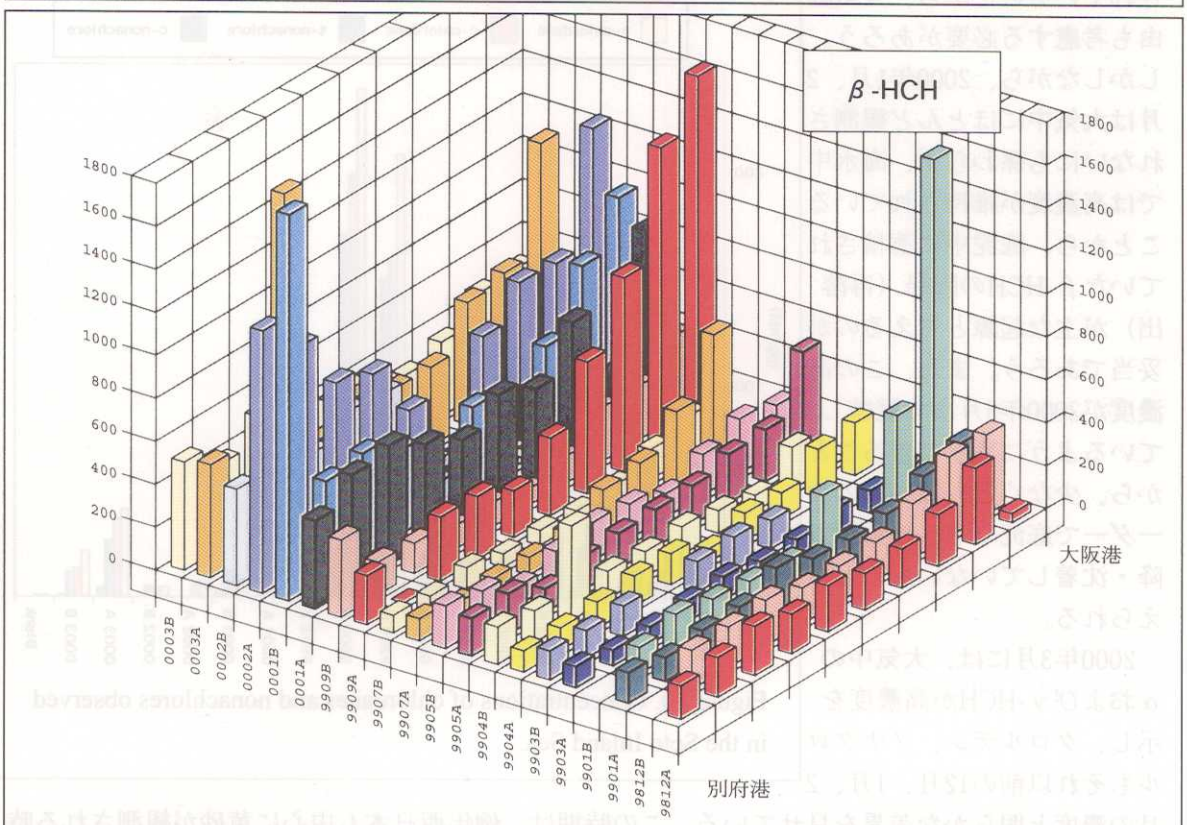


Figure 8. All concentrations of β-HCH observed in the water column in the Seto Inland Sea.

が、大気中の濃度が上がっているにもかかわらず、海水中ではどちらも明確な変化は見せていない。これは、大気－海洋間の交換にはある程度の時間を要するか、風速などの海洋気象上の条件が必要かと思われる。2000年3月における復路で大気中のα-HCH濃度が高濃度を示しているにもかかわらず、海水中の同異性体濃度は大きな変動を示していないことからも示唆される。

一方、β-HCHは、通常大気中にはほとんど観測されない程度であるが、1999年9月および2000年3月には検出限界を大きく超える濃度が観測されていることから、大気経由も考慮する必要があろう。しかしながら、2000年1月、2月は大気中にほとんど観測されないにも係わらず、海水中では高濃度が維持されていることから、底泥中に蓄積されていたβ-HCHの回帰（再溶出）が主な起源と考えるのが妥当であろう。また、この高濃度が2000年3月まで継続しているように判断できることから、少なくとも数ヶ月のオーダーで底泥などへの再沈降・沈着していないものと考えられる。

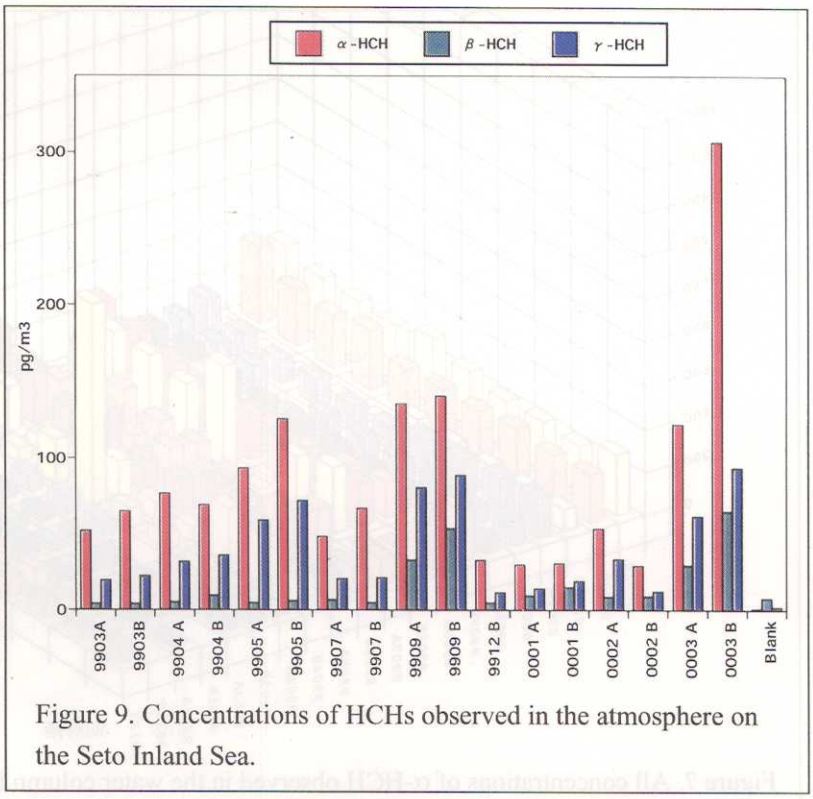


Figure 9. Concentrations of HCHs observed in the atmosphere on the Seto Inland Sea.

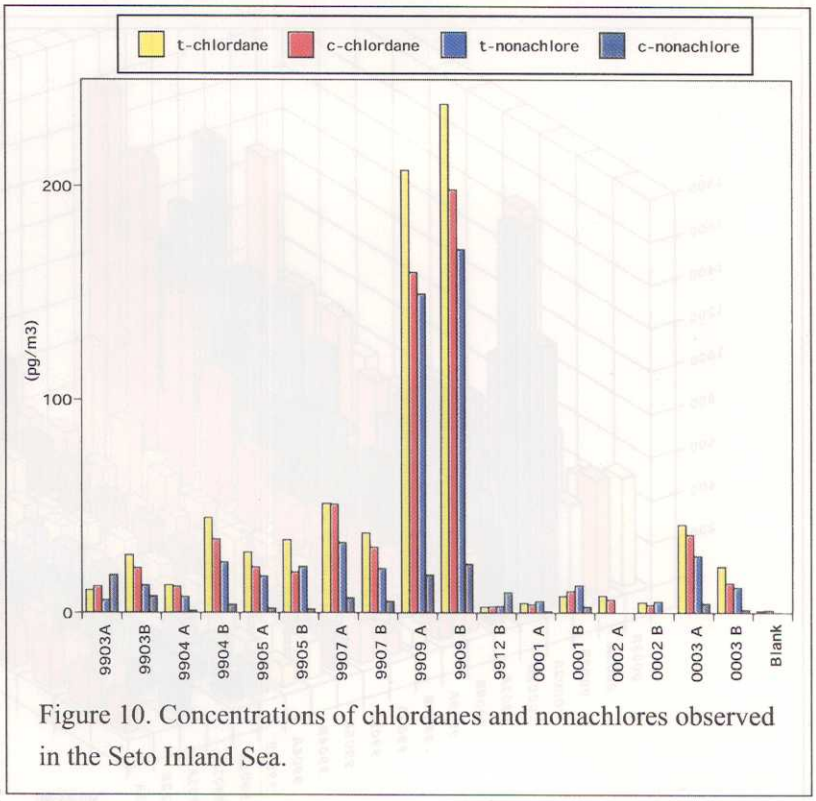


Figure 10. Concentrations of chlordanes and nonachlores observed in the Seto Inland Sea.

2000年3月には、大気中のαおよびγ-HCHが高濃度を示し、クロルデン、ノナクロルもそれ以前の12月、1月、2月の濃度と明らかな差異を見せている。この時期は、例年西日本も中心に黄砂が観測される時

期であるが、観測前日の26日に九州各県で黄砂が観測されており、この影響であると考えられる。1999年3月は、このような傾向を捉えていないが、これは観測が3月1～3日と明確な黄砂が観測される以前だったと考えられる。気象情報をみるとこの観測の後に黄砂が観測されている。

4. まとめ

これらの結果を総合すると、海水中へのβ-HCHの起源は主として底泥であり、底泥にに蓄積されているものが、台風などにより底泥まで大きく攪乱されることにより海水中に回帰してくると考えられる。一旦海水中に負荷されたβ-HCHは比較的長期間滞留し、長時間に渡って高濃度が維持される。台風時や黄砂時などに、大気中においてβ-HCHが高くなることがあるが、量的にはαやγ異性体に比較して少ない。

一方、α-HCH、γ-HCH、クロルデン類、ノナクロル類の起源は、主として大気経由と考えられる。特に、γ-HCH、クロルデン類、ノナクロル類は、大気中の濃度が高濃度の時に海水中の濃度も高濃度になることが多い。ただし、大気中の高濃度と海水中の高濃度とピークに達する時間がずれがあるものと考えられる。これは大気－海洋交換速度に依存するためであるが、今回の観測で検出可能な短期変動は1～2日程度であり、この点に関して十分な情報は得られなかった。2000年3月の復路の大気側でα-HCHおよびγ-HCHの高濃度が観測されているが、この高濃度は海水側では見られないことから、少なくとも平衡には1日以上必要と予想される。1999年9月の観測時には、大気、海洋共に高濃度が観測されているが、これは9月に複数の台風がこの周辺を襲っており、また直前まで台風が来ていたこともあり、大気－海洋間の交換が十分に行われた結果であると考えられる。α-HCHを含むこれらの有害化学物質の海水中での滞留時間は短いものと考えられる。これは、海水中で高濃度が出現しても持続する傾向が明らかには見られず、α-HCHの動態は、これらと似た傾向にあるがより複雑のように思われる。時折、特異的な高濃度（例えば1999年4月）が観測されるが、現在のところこの原因は把握できていない。

定期フェリーを利用した海水中有害化学物質の高頻度観測は、従来考えられていた以上にダイナミックに変動する海洋汚染の動態を見事に捉えることが出来、汚染物質の起源推定からその行方まで汚染機構の解析に資する貴重な情報を提供することが明らかとなった。今後、フェリーを始めとする多種の商船が海洋観測への機会を提供可能となれば、地球規模の環境問題において重要な役割を担っているであろう海洋の様々な動態解明への大きな力と成り得ると確信する。

謝辞

貴重な海洋観測の場を提供してくださった（株）関西汽船に感謝いたします。

参考文献

1) H. Iwata, S.Tanabe, N. Sakai, and R.Tatsukawa(1993), Environ. Sci. Technol., 27, 1080-1098.
2) H. Iwata, S.Tanabe, N. Sakai, A. Nishimura, and R.Tatsukawa(1994), Environmental Pollution, 85, 15-33.
3) 田辺信介(1995)、沿岸海洋研究ノート、32、137-144.
4) 前田　勝(1995)、沿岸海洋研究ノート、32、147-161.

5) 松村　徹、伊藤裕泰、山本貴士、森田昌敏(1993)、環境化学、3、683-697.
6) C. Lee and S.G.Wakeham(1992), Marine Chemistry, 36, 95-118.
7) K.Kawamura, and K. Ikushima(1993), Environ. Sci. Technol., 27, 2227-2235.
8)功刀正行、原島省、藤森一男、中野武(1998)、GERF報告書　D-2東アジア海域における有害化学物質の動態解明に関する研究、6-21.
9)功刀正行、原島省、藤森一男、中野武(2000)、GERF報告書　D-2東アジア海域における有害化学物質の動態解明に関する研究、7-23.

Observation of marine pollution with hazardous chemicals using ferries

Masayuki KUNUGI*, Akira HARASHIMA*, Kazuo FUJIMORI, Takeshi NAKANO****

***National Institute for Environmental Studies**
****The Environmental Science Institute of Hyogo Prefecture**

Abstract: We developed a continuous-extraction system for sampling of hazardous chemicals in seawater, suitable for mounting on a merchant vessel. By mounting this system in the ferry "Kuroshiwo" whichi navigated between Osaka Bay and Naha New Port from December 1996 to February 1998, and the ferry "Sunflower Ivory" which navigated the Seto Inland Sea from December 1998 to March 2000, we observed the concentrations of hazardous chemicals in seawater and confirmed the usefulness of the system. Using these observations, we analyzed the dynamics of hazardous chemical pollution in seawater. From these results, it is clear that frequent observations are indispensable to gain a grasp of the dynamics of marine pollution by hazardous chemicals. By observing their concentrations at various times and locations, it was possible to estimate the dominant origins of HCHs and chlordanes.

Keywords: Hazardous chemicals, POPs, HCHs, VOC, Ships of Opportunity