



環境儀

NO. 23 JANUARY 2007

国立環境研究所の研究情報誌

地球規模の海洋汚染 観測と実態



独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/>

地球規模で進行する海洋汚染。
世界中を航行する商船に観測装置を搭載し、
汚染の実態や汚染物質の動きを調査しています。





残留性有機汚染物質(POPs)や環境ホルモンなど、多様な物質が海を汚染しています。海洋汚染は地球規模で拡大しており、研究面で早急な対応が望まれるようになりました。

国立環境研究所は研究の趣旨に賛同していただいた海運会社の協力を得て、1995年から客船やタンカー、コンテナ船といった商船を活用して有害化学物質による海洋汚染を調査・研究しています。海洋汚染に関するこれまでの調査は海域や時期が限られていましたが、同一航路を何度も往復する商船に観測装置を搭載し、高頻度の調査を行うことで、初めて地球規模の海洋汚染の実態を解明することに成功しました。

本号では、商船を活用した海洋汚染研究の10年以上に及ぶ歩みと成果をご紹介します。

C O N T E N T S



地球規模の海洋汚染 観測と実態

●Interview

研究者に聞く!!P4~P9

●Summary

「商船(篤志観測船)を用いた有機汚染物質による地球規模海洋汚染観測」の概要P10~P11

●研究をめぐって

有害化学物質による海洋汚染の研究動向P12~P13

●篤志観測船を利用した

海洋汚染観測のあゆみP14

●表紙写真:(背景)栄養豊かで植物プランクトンや動物プランクトンが多く存在し、緑色に見える海。ノルウェーのベルゲン沖にて。
(船舶)上から順に、南極や北極の調査で使用した客船「飛鳥」、日本-ベルシャ湾間の調査で使用したタンカー、日本-アメリカ間の調査で使用したコンテナ船。

Interview 研究者に聞く!!

これまで、海洋汚染の拡大スピードや汚染物質が最終的に集まる場所における定量的な調査・分析は、ほとんど行われてきませんでした。地球規模における海洋汚染の実態解明、汚染源の推定、長期的な汚染変動要因の分析等が求められている今、1995年から商船を使って海洋汚染の現状を定量的に調査・分析してきた功刀（くぬぎ）さんに、地球規模における海洋汚染の実態をお聞きました。



功刀正行 / 化学環境研究領域 動態化学研究室主任研究員

極域にまで拡大した 有害化学物質による海洋汚染を明らかに

1：フェリーを使い海水を連続的に採取

Q：まず最初に、海洋汚染の研究に取り組まれたきっかけをお聞かせください。

功刀：私は、もともと大気汚染の測定法について研究していたのですが、ふと考えてみると、「地球の表層の7割は海である」という単純な事実には思い至りました。ならば、地球規模の汚染を考えた場合、この広大な海についても研究する必要があるのでは、と思考したのです。そして1990年、国立環境研究所に地球環境研究グループという組織ができて、その海洋研究チームに入ったことが、海洋汚染の研究に取り組む直接のきっかけになりました。

Q：大気汚染から海洋汚染の研究へと変わられたのですね。

功刀：海洋研究チームは私を含め3人でスタートしました。それ以前の当研究所の海洋研究は赤潮という沿岸海域が中心の問題を対象としており、なかなか広域の海洋汚染の研究を行う機会がありませんでした。

Q：そうした状況を変えたきっかけは、何だったのでしょうか。

功刀：同じ海洋研究チームに、神戸―釜山（韓国）間を往復するフェリーに機材を積み、海水の温度や植物プランクトンの量などを測定している研究者がいたんです。私もさっそく乗船させてもらって、航行中のフェリーで海水を連続的に採取して、海中の有害化学物質を測定する研究を考案したのです。

Q：ところで、海はどのようにして有害化学物質に汚染されるのですか。

功刀：有害化学物質は主に3つのルートを経由し

改良を重ねた観測装置の変遷

これまで商船に搭載された観測装置は、観測を重ねるごとに改良されてきました。最初にフェリー「くろしお」に搭載された装置は、大きさが幅70cm×奥行70cm。このときは、海水を通すカラムを専用につくるとコストがかかるため、苦肉の策としてフィルターケースを買い、3種類の固相抽出剤を女性用ストッキングに詰めてテストしました。電源装置などエレクトロニクスの部品を秋葉原で買い求め、自分で組み立てました。

1996年12月の調査のときにフェリー「くろしお」に搭載した装置では、専用のカラムを20本つなぐことができるようになりました。さらにパイプの固定をナットから締め付けが楽なヘルールに変更し、柔軟さが必要などころにはステンレス製のフレキシブルチューブを採用し

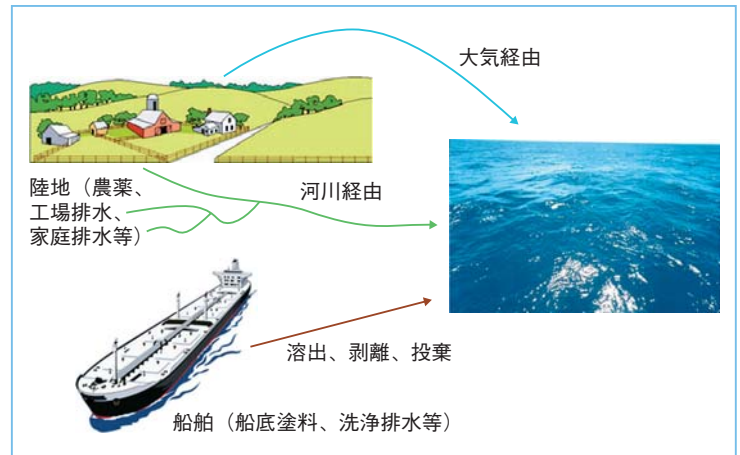
ました。フェリー「さんふらわあ あいぼり」に搭載した装置では、外洋を航行する船舶への搭載を視野に入れて構成を自由に変更できるようにしたほか、海水の自動捕集が行えるようにしました。

また、タンカーに搭載した装置は、組立がそれまでの自作から外注に切り換わりました。装置は海水採水装置、カラム濃縮捕集制御部および水質観測部、カラム濃縮捕集ユニットの3つで構成され、それまでの装置より高機能となり、かなり大型になりました。石炭運搬船に搭載した装置では、タンカーに搭載したものをベースに改良を加え、センサー類の構成などの見直しと小型化を図りました。

そして、客船「飛鳥」に搭載した装置やコンテナ船に搭載した最新の装置は、設置スペースが非常に狭かったことから、コンパクト性に優れた設計になっています。とくにコンテナ船に搭載した装置は、船内で組み立てることができ、あらゆる船舶に搭載することを可能にしました。



●汚染物質はどのような経路で海洋に届くか



て海を汚染します。まず1つ目のルートが河川です。工場や家庭の排水、農薬が河川に流れ出せば、海が汚れるのは理解できるでしょう。2つ目のルートは大気です。農薬などが大気の流れに乗って移動すると、やがて海に溶け込んでしまいます。そして3つ目のルートが航行中の船舶です。船底に塗られている塗料が溶けたりはがれたりするほか、洗浄したときに出る排水が海に捨てられることで汚染されるのです。

Q: 研究を始めるにあたって、周囲の反応はいかがでしたか。

功刀: 研究のためのグループをつくり、予算を申請したところ、「無謀だ」と言われました。初年度なんとか認められた予算が、400万円。この少額な予算で、なんとか観測を立ち上げ1995年から2000年にかけて研究に取り組むことになりました。

研究は、1995年～1997年が大坂—那覇間を往復するフェリー「くろしお」、1998年～2000年が大坂—別府間を往復するフェリー「さんふらわああいぼり」に、海水を濃縮して有害化学物質を捕集する装置を積んで行いました。捕集装置といっても、完

成した市販製品はなかったので、自分で設計して組み立てたオリジナル装置です。

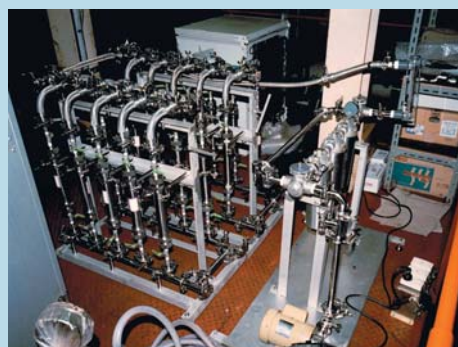
Q: どのようにして、海水から有害化学物質を捕集されるのですか。

功刀: 捕集装置は船の一番下、船底に置きます。海水に含まれる有害化学物質は濃度が非常に低いため、採取した海水を船の中で濃縮するようにしました。まず、1995年11月と1996年2月に、フェリー「くろしお」に自作した装置を積み込んでテストを行い、コスト面などいろいろな角度から捕集方法を検討した結果、大気中のダイオキシンを測定するときに使用するポリウレタンフォームを使用した固相抽出法が効果的であるとわかったんです。テストを繰り返すうちに、装置に海水を流すスピード、流す海水の総量、検出できる物質や装置の改良点なども、だんだん見えてきました。

でも、装置はよく水漏れを起こしたので、何度もパッキンを交換したり、パイプを締め直しながら、水漏れとの戦いに明け暮れました。海水採取中は心配で心配で、上層階の客室でゆっくり休む余裕もなく、航海



●はじめてフェリー「くろしお」に搭載した手作りの捕集装置(第一世代)



●フェリー「くろしお」に搭載した複数カラム搭載可能な捕集装置(第二世代)



●コンテナ船に搭載したユニット化した捕集システム(第七世代)

●大阪一那覇間の調査で使用したフェリー「くろしお」



中、行ったり来たりしながら捕集を続けました。

Q: 分析の結果、こういった有害化学物質が検出できましたか。

功刀: 農薬の HCH_s (ヘキサクロロシクロヘキサン) や白アリ防除剤のクロルデン、ノナクロルなどが検出されました。1996年12月に行った調査では、すべての観測地点で HCH_s が検出されました。HCH_s は製造過程で4つの異性体(化学式は同じでも化学的性質や物理的性質が異なる物質)ができますが、そのうちのα-HCHとβ-HCHという異性体が、必ず検出されました。なかでもβ体はα体よりつねに高い値を示し、海域によって濃度が異なることもわかりました。とはいえ、濃度は非常に低く、一番高いところでも大阪湾の400pg/L(1pgは1兆分の1g)でした。クロルデンもほとんどの採取地点で検出されまし

●濃縮捕集装置に使用したカラムホルダーとポリウレタンフォーム



ヘキサクロロシクロヘキサン(HCHs)は、日本ではBHC(ベンゼンヘキサクロライド)という名前の農薬として1970年代前半まで使用されました。製造工程で4種類(α、β、γ、δ)の立体異性体が生成されますが、農薬として効力があるのはγ体だけです。4つの特性は表のように異なり、環境中での挙動が異なります。

●海洋汚染物質の分類

分類	解説
有害化学物質	環境に何らかの悪影響を及ぼす人為起源の化学物質の総称。金属類から有機物まで広範な化学物質を含む。
残留性有機汚染物質	POPsと総称され、残留性(難分解性)、生物蓄積性、長距離輸送の可能性、毒性(悪影響)のという4つの特性をすべて持つ化学物質。POPs条約では12物質(ディルドリン、アルドリノ、クロルデン、マイレックス、DDT、HCB(ヘキサクロロベンゼン)、ダイオキシン類、PCB(ポリ塩素化ビフェニル)、など)がまず指定された。さらに、今後HCHsや臭素化難燃剤などが指定される可能性がある。
内分泌攪乱化学物質	いわゆる環境ホルモン。擬似的な内分泌(ホルモン)作用あるいは内分泌作用を妨害する可能性が疑われる化学物質。非常に多くの化学物質がその可能性を持つと疑われているが、まだ未解明な部分が多い。人為的な化学物質だけでなく天然物にもその作用があるものが存在する。
有機スズ化合物	主に船の防汚塗料として使用されたTBT(トリブチルスズ)やTPT(トリフェニルスズ)などのスズ化合物で、内分泌攪乱作用が認められている。現在は国際的に使用が禁止されている。
非意図的汚染物質	ダイオキシン類やHCBなどは、燃焼過程での生成あるいは化学物質の製造過程で不純物として(非意図的に)生成されてしまうため、こう呼ばれる。



客船「飛鳥」乗船時の濃縮捕集作業の様子。船底のエンジンルームに設置

たが濃度はさらに低く、検出可能ぎりぎりでした。

さらに、1997年3月の調査では、α-HCHは気象条件によって濃度が変動することがわかり、β-HCHは気象の影響をあまり受けないことなどがわかりました。

Q: 非常に低濃度ということですが、どれくらいの濃さをイメージすればよいのでしょうか。

功刀: 例えば10pg/Lであれば、ティースプーンで4分の1杯の砂糖を長野県にある諏訪湖に入れて、均一に混ぜた濃度をイメージしてください。400pg/Lでもこの40倍ですから、人間が味を感じるという濃度では、まったくありません。そんなに低い濃度ならば問題ないし、わざわざ苦労して測る必要もなさそうに思われるでしょうが、海水中で低濃度であっても、植物プランクトンからは乳類への食物連鎖の過程で濃縮が起きます。例えば、北極のシロクマでは数億倍に濃縮されると考えられていますので、こうした極めて低い濃度でも測っておく必要があるのです。

Q: 「さんふらわあ あいぼり」というフェリーの調査は、「くろしお」と同じ方式だったのでしょうか。

●BHCの異性体存在量とその特性

異性体	存在量 (%)	溶解度(水) (mg/mL, 25°C)	蒸気圧 (mmHg, 20°C)	沸点 °C
α-HCH	68-70	1.9	1.6×10^{-4}	159-160
β-HCH	9	0.21	0.23×10^{-4}	309-310
γ-HCH	13-15	6.3	1.8×10^{-4}	112-113
δ-HCH	8	11.5	0.76×10^{-4}	138-139



された装置(第六世代)を使い、海水を採取した。(写真提供:青木 勝氏)

刃刀: フェリー「さんふらわあ あいぼり」では、ブリッジの上に専用の装置を設置して、海水のほか大気汚染も同時に調査しました。装置はフェリー「くろしお」に搭載したもののより小型化して、新たに製作しました。秋葉原で部品を買い込んで、装置の制御部と制御プログラムを自作し、海水を採り入れるためのバルブ開閉を自動化しました。

Q: より進化した装置を使用した調査結果はどうか。

刃刀: 1998年12月から10回にわたり本格的な調査を実施し、200ものサンプルを集めることができました。前のフェリー「くろしお」の調査ではβ-HCHの値はほとんど一定でしたが、このときはβ-HCHの値が大きく変動しました。逆にフェリー「くろしお」の調査で大きな変動を見せたα-HCHが、今回は小さいという結果が出ました。また大気を調べたところ、1999年9月の調査において、クロルデンとノナクロルが突出して高い値を示しました。これに呼応するように、海水のクロルデン、ノナクロルも高い値を示したのです。

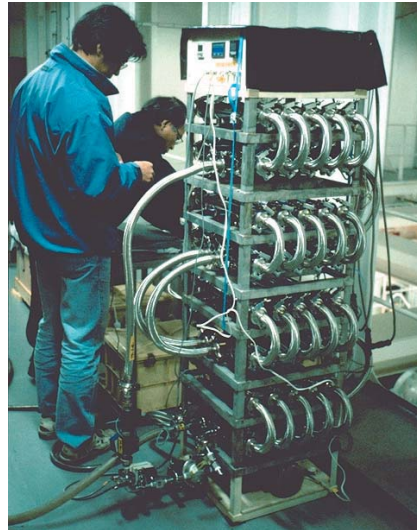
商船(篤志観測船)での海水捕集

海洋の研究や調査を実施する際には、通常、調査観測船を使用します。しかし、広大な海洋を詳細に調査・研究するには、調査観測船の数が圧倒的に足りません。一方で、日本と世界の物流は、海運が90%を担っていますので、こうした商船のごく一部であっても観測研究に利用できれば、海洋観測は充実したものになります。

ところが、商船は海洋観測を考えると造られていないため、海洋観測を実施するには様々な問題があります。たとえば、商船は調査観測船のように停船して観測することができませんから、何らかの方法で海水を航行中の船内に引き込む必要があります。さいわい商船は様々な目的で海水を利用していることもあり、その一部を研究用に分けてもらえば、観測や試料採取が可能です。本研究では、使用する船



●フェリー「さんふらわあ あいぼり」に搭載したパソコン制御方式の濃縮捕集装置(第三代)



2: 想定していない結果が出た 日本—オーストラリア間の海洋汚染

Q: この後、2000年から外国航路を使った観測をされていますが、日本近海での調査と違って、苦勞されたことも多かったのではないのでしょうか。

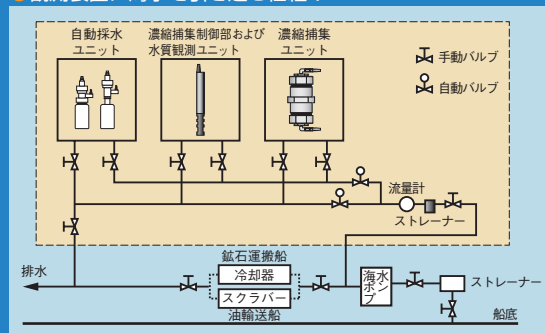
刃刀: 外国に行く商船を使って海洋汚染を研究したかったのですが、なにしろ研究に協力してくれる船がなければ、研究は始まりません。ちょうど、そんなときでした。高校の同窓会に行ってみると、偶然日本郵船で船長をしている同級生に再会したんです。そこで、私が海洋汚染研究のことを話したら、とんとん拍子に商船の協力が得られました。その後は予算もだいぶ増額されましたから、これで装置を自分で作らずに済むと、ホッとしたことを覚えています。

最初の船は2000年6月に完成したタンカーでした。このタンカーはペルシャ湾に向けて航行するもので、建造中から装置を置く場所を決め、配管工事も済ませました。自分で設計した高さが2mもある装置を外部に製作依頼し、採取地点の位置を判明させるた

に応じて海水を分岐し、観測装置に導いています。

したがって、この観測では、ある一地点の観測結果ではなく、ある程度の空間的な広がり(70~150km)を持った全体像を捉えていることになります。

●観測装置に海水を引き込む仕組み



めに、ブリッジから GPS（全地球測位システム）情報を受け取れるように改良したんです。航海日数もフェリーでは 3 日間でしたが、初めて乗船したタンカーでは往復 48 日間もかかりました。調査観測作業はもちろんですが、初めてのことでトラブルも結構あり対応に追われましたし、調査のために乗船しているのは私一人ですから、健康管理には気を使いました。

タンカー以外では日本—オーストラリアを往復する石炭運搬船や日本—アメリカ間を往復するコンテナ船、世界中をクルージングする客船を使用することができました。石炭運搬船については、ドックでの修理期間中に装置を設置する基礎工事と配管工事を済ませ、より小型化した装置を積み込むことができました。

Q：外洋での調査では、どのような結果が出ましたか。

功刀：まず、日本とペルシャ湾を往復する航路では、海水を採取した地点のほとんどで β -HCH が検出されました。アラビア海やペルシャ湾ではそれほど高い値が出なかったのですが、陸地に近いインドやベトナム沖、日本近海では比較的高い値が出ました。 α -HCH と γ -HCH は捕集が十分にできませんでしたが、インド沖やベトナム沖、日本近海で検出しています。

一方、日本—オーストラリア間の航路では、想定していない結果が出ました。まず、 β -HCH の値が日本から遠ざかるにつれて次第に低くなっていったのです。何回測定しても、結果は同じでした。

Q：コンテナ船を使った調査はいかがでしたか。



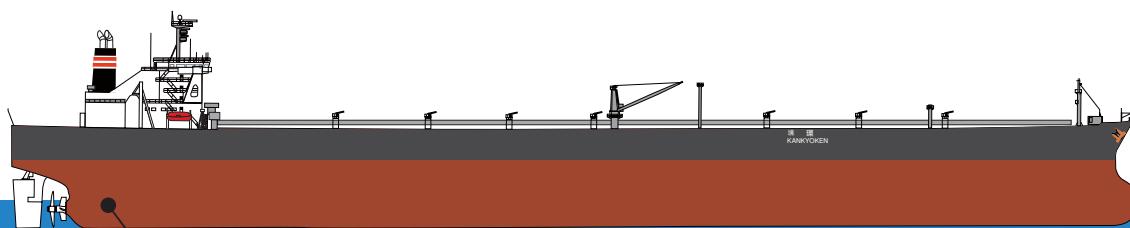
青色をした小型の冰山（南極海）。

功刀：2005 年 3 月と 8 月に乗船し、調査を行いました。コンテナ船はタンカーや石炭運搬船に比べエンジンルームが狭くて甲板もなく、既存の装置を使うことが不可能なため、専用の新装置を作りました。

新装置の特徴は、装置を 8 ユニットに分け、1 つのユニットの大きさを段ボール 2 個分程度にして運びやすくしたことです。航路は日本を出発して中国—香港—ロスアンゼルス—オークランドを回り、日本に帰るコースです。調査結果については論文発表前ですので詳細は省略しますが、北米に近づくにつれて α および γ -HCH の濃度が上昇し、また高緯度になるほど濃度が高くなる傾向などが観測されています。

Q：豪華客船を利用した調査も行われたようですが。

功刀：コンテナ船の調査は、2003 年に日本郵船と交渉して実施が決まりましたが、その交渉に行く日の新聞に、日本郵船の客船「飛鳥」が北極圏に行くこと



●側面から見たタンカー。船尾の底にあるエンジンルームに濃縮捕集装置を設置している。



●石炭運搬船に捕集システムを搬入している様子。エンジンの機材やパーツを搬入するクレーンを借用し、まずエンジンルームに機材を搬入、そこから再度、設置するフロアーに移動した。中央に見えるのがエンジン。





このほかにも群青色の氷山も確認できた。



●コンテナ船に乗船したとき、下船数日前に開かれた歓送会



いう記事が掲載されたのです。それを読んで、「この客船を利用できれば、極域の海洋汚染研究ができるかもしれない」、と心が勇躍しました。すぐに船会社に交渉してみると、「部屋が空いていればOK」という思いがけない返事です。さらに2004年に客船「飛鳥」が南極に行ったときも、乗船調査が許可されました。

3：南極や北極でも有害化学物質を検出

Q：南極や北極の汚染は、ほかの地域の海洋調査と何か異なった点がありましたか。

刃刀：客船「飛鳥」はこれまで観測に使用した船の中で最も小さな客船でしたので、今までの装置は入らず、再び専用の装置を製作しました。南極の調査ではニュージーランドから客船「飛鳥」に乗船し、タヒチー—イースター島—チリー—南極—アルゼンチンを30数日間かけて調査しました。

この調査では100カ所から海水を採取した結果、南半球の海は有害物質の濃度が北半球に比べて非常に低く、 α -HCH や β -HCH、 γ -HCH の値も海域によってかなり変動していることが判明しました。

Q：北極の調査はいかがでしたでしょうか。

刃刀：2005年に客船「飛鳥」に乗船して調査を行いました。調査結果については現在まとめているところですが、南半球に比べHCHs類の濃度は一般に高く、また海域によって異性体の分布がきわめて異なる、などといったことがわかってきています。

Q：最後に、これまでのすべての研究成果を踏まえて、明らかになった知見をまとめて下さい。

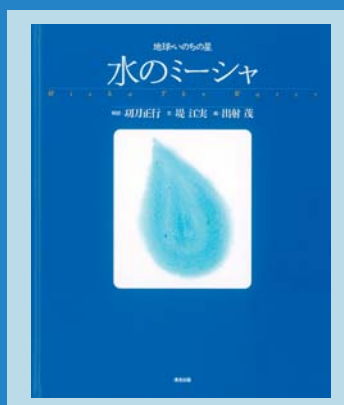
刃刀：実際に世界中の海を観測したことで、以前から「大気の動きが海の汚染に大きく作用している」と言われていたことを確かめることができました。大気と海は密接に関連しています。一度海に入った有害化学物質が再び大気に移動することで、両者は相互に作用しあっているのです。今までは大気か海という二者択一の研究が主流でしたが、今後は両者をベースにした総合的な汚染研究をしていかなければなりません。

また、以前から北半球と南半球間の汚染物質の移動は遅いと言われていましたが、これもデータによって実証されました。測定装置の進化によって、新たに問題になりつつある化学物質についても調査することが可能になりました。

南極観測がきっかけで絵本が誕生

南太平洋—南極の観測で客船「飛鳥」に乗船中、2回ほどレクチャーを頼まれ、環境の話をする機会に恵まれました。このお陰もあり、多くの乗客の方々と始め、講師やエンターテイナーの方々と知り合うことができ、帰国後も交流が続いています。このほかにも、様々な貴重な体験をすることができました。

また帰国後、客船「飛鳥」で知り合いになった堤江美さんの紹介で、多くの方面の方々と知り合う機会にも恵まれました。その一つとして、たまたま一緒になった画家の出射茂さんと、絵本を作ろうという話が持ち上がり、同席されていた堤さんとのコラボレーションが即、決まりました。それから2年、2006年9月末に、絵本「水のミーシャ」が誕生しました。



文：堤江美 絵：出射茂
解説：刃刀正行 発行：清流出版
ISBN 4-86029-168-9

「商船（篤志観測船）を用いた地球規模海洋汚染」

人為起源有機汚染物質による広域な海洋汚染の実態を把握するために、フェリーや貨物船などの商船を利用した観測体制を確立しました。現在までに南極、北極両海域を含む広範囲な海洋における海洋汚染の観測を実施。商船を利用したこれほど広範囲な観測は例がなく、海洋汚染の実態解明や解析に重要なデータを提供しています。

● 海水中の有機汚染物質の観測方法

人為起源の化学物質による地球規模の海洋汚染が進んでいます。とくに近年、海洋生態系に及ぼす汚染の影響が懸念されていますが、残念ながら広域の海洋汚染の観測体制はまだまだ整っていないといえます。沿岸域など一部を除いては、観測データの蓄積さえ希薄という状況です。

観測情報が少ない理由は2つあります。1つは、海洋汚染のモニターに使用できる研究調査船が十分でないこと、もう1つは、海水中の有機汚染物質濃度が極めて低いことが予想されるため、大量の海水処理が必要で、クリーンな環境下で膨大な量の海水を処理

する必要があることです。

これらの問題点を解決する方法としては、第一に専用の研究調査船ではなく商船を観測船として利用する、いわゆる篤志観測船（Voluntary Observing Ship、以下VOS）の活用が有効です。国立環境研究所では、1991年からフェリーを用いた海洋汚染観測、1994年からは貨物船を用いた海洋表層の二酸化炭素の観測が開始されており、VOSに関するノウハウが蓄積され始めていました。

第二の問題点は、船上で海水中から目的の化学物質を抽出し濃縮捕集することで、解決できました。濃縮捕集には、有機溶剤を用いる液液抽出法と固体に目的物質を吸着させて濃縮する固相抽出法がありますが、今回の研究では固相抽出法を採用しました。

● フェリーを用いた高頻度海洋観測（1995～1999）

本研究は1995年からスタートしましたが、当時は研究目的にあった濃縮捕集装置は市販されておらず、沖合海水中の有機汚染物質をルーチン的に観測している例もほとんどありませんでした。唯一、環境省が1974年より実施している「化学物質環境汚染実態調査」が海域も対象としており、種々の化学物質の基礎情報から測定法の開発まで、大いに参考になりました。最初、装置は自作、固相抽出材として当時広く用いられていたイオン交換樹脂、ポリウレタンフォーム、固相抽出濾紙（エムポアフィルター）の3種を検討しました。その結果、取り扱い易さと価格の安さからポリウレタンフォームを採用しました。

続いて、最適な通水速度と総通水量を実験室および実際の装置で検討し、毎分1L前後の流量で、100L



■ 図1 石炭運搬船を用いて観測した日豪間のβ-HCHの検出値

分析の結果として、日豪間ではかなり特徴的なHCHsの空間分布が、明らかになりました。特にβ-HCHは日本から赤道付近までその濃度が次第に減少し、赤道以南は極低濃度であることが観測され、研究者の間では議論になりました。

いた有機汚染物質による 染観測」の概要



前後の海水を濃縮捕集すれば、海水中の HCHs およびクロルデン類が観測できることがわかりました。

1996、1997 年に、大阪—那覇間で数回の観測を実施した結果、HCHs 類はすべての観測地点から、クロルデン類はほとんどの観測地点で検出されました。データが集積されるにつれ、海水中の汚染物質濃度はかなり変動しており、気象イベントなどとリンクする様子も、捉えられ始めました。

1998 年からはフェリー「さんふらわあ あいぼり」に研究プラットフォームを移して、海洋観測を継続。「さんふらわあ あいぼり」では 2 年間に 200 試料（10 往復）を採取し、有機汚染物質による海洋汚染の動態がより詳細に把握できました。沖縄航路は主として外海の航路なので、内海の瀬戸内海航路と比較した汚染の違いが、観測結果に反映されたのです。

● 国際航路に就航する商船を用いた地球規模の海洋汚染観測(2000～2005)

VOS による高頻度観測は、海洋汚染研究に非常に有効であることが明らかになりましたが、観測域は我が国沿岸域ときわめて限定的でした。何とか外洋域に観測を拡大したいと考えていた 1999 年の夏に日本郵船(株)へ研究構想を持ち込む機会があり、全面的な協力が得られました。

初代の VOS は建造中のタンカーを選定。2000 年 12 月下旬に機材を搬入し、直後から翌年 2 月上旬まで日本—ペルシャ湾往復の乗船調査で、本格的に研究がスタートしました。捕集したほぼ全試料から β -HCH が検出され、HCHs はかなり広範な海域に既に拡散していることがわかりました。また、この経

験をもとに 2002 年 1 月、改良した濃縮捕集システムを鉱石運搬船に搭載し、日豪間の観測を開始しました(図 1)。

その後、日本郵船所有の客船が、南極や北極をクルーズするのに合わせて広域観測を企画、客船に搭載する捕集装置を新開発しました。2004 年 1 月～2 月にかけて南太平洋および南極周辺海域を、2005 年 5 月～6 月にかけて地中海—北海—北極海—北大西洋の広域観測を実施。さらに 2005 年 3 月～4 月および 2005 年 8 月～9 月には、日米間を就航するコンテナ船による北太平洋の観測を実施しました。

この 6 年間の全航路を、図 2 に示します。航路上における試料採取地点は 500 地点を優に越え、総採取数は 1000 試料を超えています。

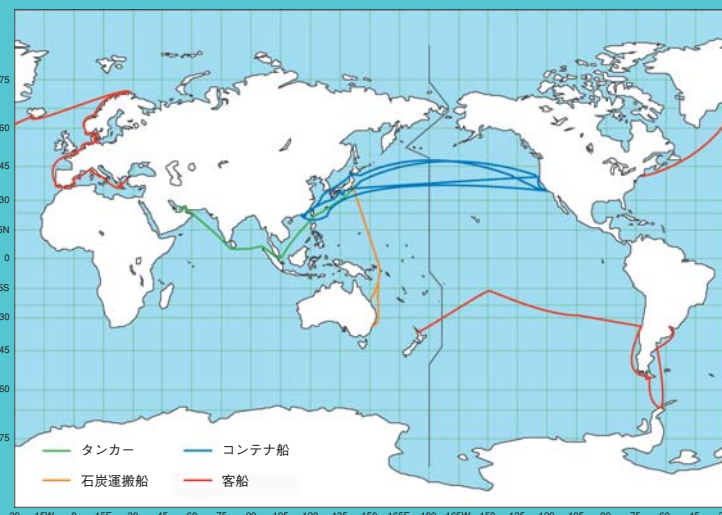
今までの結果から、HCHs の異性体存在パターンはきわめて特徴的であり、太平洋の日豪間では、日本から離れるにしたがって β -HCH 濃度が低下、北太平洋の日本—北米間では β -HCH 濃度に顕著な差はなく、 α および γ -HCH は北米に近づくにしたがって高濃度となりました。

一方、南太平洋は北太平洋と比較してきわめて低濃度であること、オセアニア側と南米側では異性体パターンが異なり、南極海は低濃度で各異性体がほぼ同濃度であることがわかりました。

また、最新の成果としては、地中海のトルコ寄り海域では β -HCH の濃度が比較的高く、逆に西側では濃度が低下すること、北大西洋での異性体存在比は $\alpha > \gamma > \beta$ であり、特に北米沿岸では α -HCH の濃度が高いことなどがわかってきました。

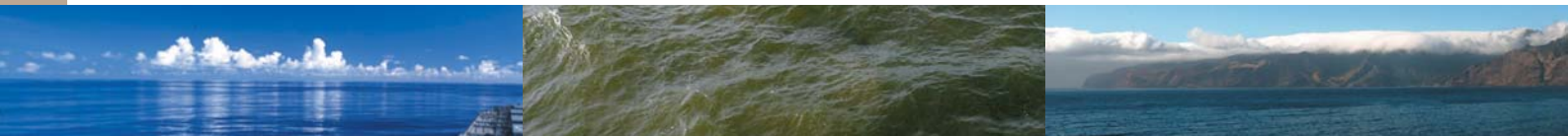
現在、これまでのすべての結果をもとに、海洋汚染の実態解明について、いくつかの研究機関や大学と共同研究を開始しています。

■ 図 2 2000～2005 年にかけて航行した全航路
この航路上で海水を濃縮捕集し、試料として日本に持ち帰りました。日本—ペルシャ湾間と日豪間は複数回にわたって調査を実施しています。



〈有害化学物質による

2005年5月に発効した POPs 条約では、条約に定められた政府は関連省庁連絡会議において作成した国内実施計画において、東アジア地域こうした状況から、国内のみならず世界的な規模での監視体制の



■世界では

世界各地における化学物質の海産ほ乳類への汚染は、多く報告されています。例えばバルト海、北海でのアザラシの大量死は、直接の原因はウイルスによる感染であったとされていますが、化学物質の汚染により免疫機能などが低下したことが、大量死を引き起こしたと考えられています。また、透明度世界一のバイカル湖（ロシア）に生息するバイカル産のバイカルアザラシにも、ガンや白内障などの疾病が拡がっており、やはり化学物質の影響によるものと考えられています。

こうした有害化学物質の海産ほ乳類などへの生物濃縮と生態系への影響は、世界中で報告されており、コルボーンらの「奪われし未来」執筆のきっかけにもなっています。海産ほ乳類、鳥類、魚介類からしばしば、高濃度の有害化学物質が検出されており、有害化学物質による汚染は地球規模に拡がっていることが懸念され、汚染実態の把握が急務になっています。

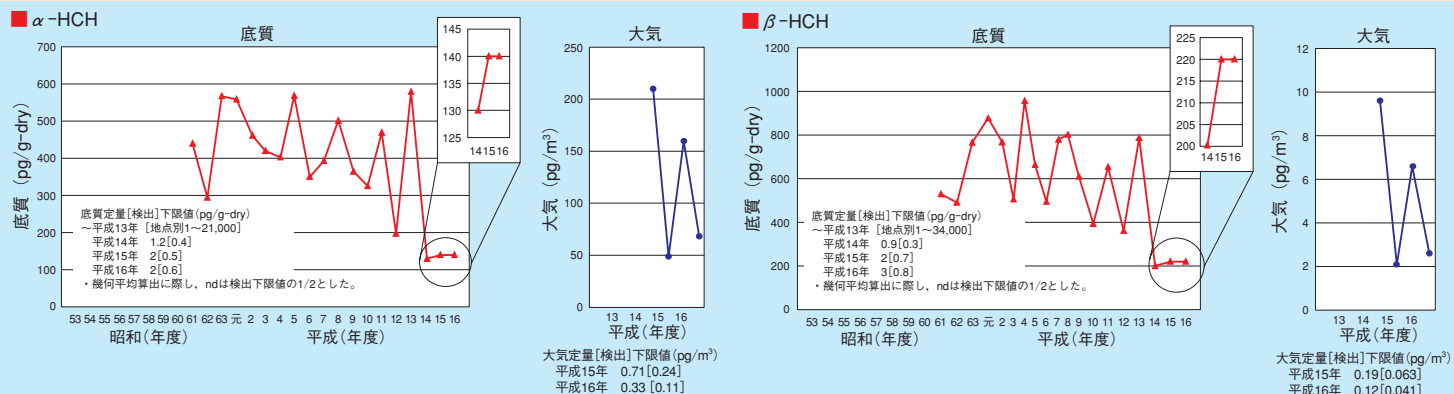
しかし、海はあまりに広大でなかなか全域を観測することができません。ごく一部の沿岸域を除くと、海水中における有害化学物質は極めて低濃度で、分析が難しいのが実情です。そこで、世界各地で生息しているムラサキイガイを用いた海洋汚染調査（マッセルウオッチ）が、広く世界中で実施されています。

一方、POPs が多く集積すると懸念されている北極周辺の各国は、AMAP(Arctic Monitoring and Assessment Programme)を立ち上げ、北極周辺の広範な地域で総合的なアセスメントを実施しています。しかしながら、AMAPにおいても、沿岸域を除く広大な海域における観測は、ほとんど実施されていないのが実情です。

■日本では

環境省は、1974年より30年以上にわたり環境中の化学物質のモニタリングを実施しており、毎年報告書「化学物質と環境」でその結果を報告しています。これほど長い期間にわたり多様な化学物質を継続的に観測している例は世界的にもほとんど存在しない、貴重な観測結果です。また、同時に種々の化学物質の分析法をスクリーニングするとともに、新たな開発も行っており、貴重な情報源となっています。しかしながら、観測対象は大気、河川、沿岸海域および生物で、外洋はその対象となっていません。

愛媛大学は、環境中の有害化学物質を以前より観測、分析しており、その対象も国内から外洋域まで広範にわたるとともに、海産ほ乳類など広範な生態系の観測とその影響に関する研究も実施しています。今までに世界中の海域において広範に観測された唯一の例といえます。



●底質と大気における HCHs の経年変化（幾何平均値）

海洋汚染の研究動向

化学物質の地球規模での監視（モニタリング）を必要としています。

などと連携し、技術協力を行いながら POPs モニタリングを実施するとしています。

確立が急務になり、より一層の汎用化を含めて研究を進めています。



また、各地方自治体においても、大気、河川・湖沼、および沿岸域における有害化学物質のモニタリングが実施されております。例えば北九州市では、数百種類に及ぶ化学物質の一斉モニタリング手法の開発など、ユニークな取り組みも行われています。さらに、岩手県では世界に先がけ、環境中の PFOS（パーフルオロオクタンスルホン酸）などフッ素化合物の分析法開発と国内各地での観測を実施しています。

■ 国立環境研究所では

有害化学物質による海洋汚染の実態把握として、前述のマッセルウォッチおよびイカを用いたスキッドウォッチなどの、生物を対象としたモニタリングを長年実施しています。これは、生物モニタリングとしてその時点での汚染状況を把握することはもちろん、採取した試料を長期保存して後世に伝えるスペシメンバンキング（長期試料保存）の目的を持っています。とくに平成 17 年度に完成したタイムカプセル棟により、対象試料は広範かつ系統的に収集、保存されることになりました。

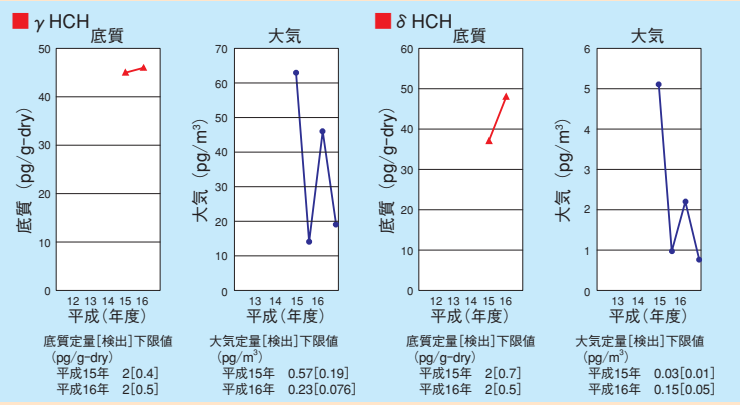
また、「環境儀」No.17 で紹介されたように、船底塗料や漁網に使用された有機スズ汚染の実態解明と機構解明に取り組んでいます（研究代表者：堀口敏宏）。国内における汚染状況を詳細に明らかにするとともに、有機スズ類は極めて低濃度であっても生態系（海

産巻貝類）に重篤な影響を及ぼすことを明らかにしています。

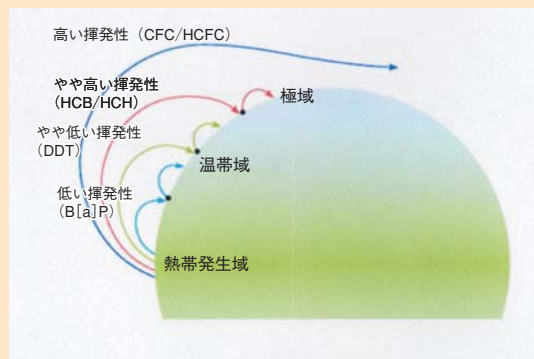
海洋汚染の観測は、本号の中でも紹介しているように、主として日本沿岸域を対象にした研究を 1991 年からフェリーを用いて開始しました（研究代表者：原島省）。いままでに日韓航路、瀬戸内海航路、沖縄航路のほか、アジア域を航行する貨物船などを利用した長期、高頻度な観測が実施されています。この研究では、主として栄養塩類、植物プランクトンなどが対象となっており、衛星回線を用いてリアルタイムで観測結果を転送するなどユニークな取り組みが行われました。

本件に関する詳細は、国立環境研究所地球環境研究センターのホームページに掲載されています (<http://www-cger2.nies.go.jp/marine/east/me.html>)。また、リアルタイム収集の取り組みなどについては、EIC ネットワークのホームページに詳しく掲載されています (http://e-tech.eic.or.jp/libra/lib_3/lib_3.html)。

ダイオキシン類をはじめとする内分泌攪乱物質の研究は、観測手法の開発から生態系への影響メカニズム解明まで、広範にわたって実施されてきており、その一部が「環境儀」No.1 で紹介されています。一方、POPs 条約に対応した研究として、主に大気中の POPs モニタリング手法の開発、調査が実施されています。



(POPs 条約に基づく国内実施計画より)



● グラスホッパー効果などによる有害化学物質の拡散

篤志観測船を利用した海洋汚染観測のあゆみ

本研究プロジェクトは、1995～2005年にかけて4期に分けて取り組まれました。

課題名

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

(第1期：1995～1997年度)

大阪～沖縄間のフェリー「くろしお」を利用した高頻度観測により、有害化学物質の時空間変動機構の解明に資する観測体制を確立したほか、東アジア海域における有害化学物質の起源と蓄積、底泥をめぐる食物連鎖による底泥堆積有害化学物質の底魚類への蓄積過程、東シナ海における有害化学物質の挙動とサンプリング技術開発、および東シナ海における有害化学物質の分布と起源など研究を行いました。

課題名

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

(第2期：1998～1999年度)

大阪～別府間のフェリー「さんふらわあ あいぼり」を利用した高頻度観測により、200点におよぶ観測結果から有害化学物質が極めて大きく変動している様子を捉えたほか、調査船による東シナ海の有害化学物質の鉛直分布などの観測により、大陸からの影響などを明らかにしました。また、瀬戸内海および東シナ海の有機スズ観測により、船底塗料だけでなくプラスチックの安定剤と思われる有機スズの存在も明らかにしました。

課題名

有害化学物質による地球規模の海洋汚染評価手法の構築に関する研究

(第3期：2000～2002年度)

国際航路を航行する商船を利用した篤志観測船による、地球規模の海水中有害化学物質の観測システムを開発し、広域観測を開始しました。同システムを用い採取した海水試料から、環境ホルモンおよび重金属による海洋汚染観測体制の構築、および海水中における有害化学物質の分解過程に関する研究を行いました。

課題名

有害化学物質による地球規模海洋汚染の動態解明と予測に関する研究

(第4期：2003～2005年度)

篤志観測船となる対象船舶を増やし、より広範な観測体制を構築、南半球、南極海、北極海、大西洋、北部太平洋と極めて広域な海域の観測を実施しました。海域ごとに種々の化学物質に大きな差があることが判明しました。また、海水中における変質過程と、その有害性評価に関する研究、および動態解明に資するためのシミュレーション解析を行いました。

これらの研究は環境省地球環境研究総合推進費により行われました。

本研究プロジェクトは次の機関、スタッフにより実施されました。

●国立環境研究所(功刀 正行、原島 省) ●産業技術総合研究所(富永 衛、田尾 博明、今川 隆、山下 信義、長縄 竜一、中里 哲也、津野 宏、R.Babu Rajendran、伊藤 信靖、青木 繁明、鷲見 栄一) ●中央水産研究所(山田 久、池田 久美子、小山 次朗) ●日本海区水産研究所(南 卓志) ●西海区水産研究所(清本 容子、岡本 和麿、長田 宏、井関 和夫、横内 克己) ●国立医薬品食品衛生研究所(神沼 二真、大竹 千代子、中野 達也) ●兵庫県健康環境科学研究センター(藤森 一夫、中野 武) ●東京大学(大久保 明、半戸 里江) ●名古屋大学(原口 紘丞、伊藤 彰英) ●愛媛大学(田辺 信介、岩田 久人) ●静岡県立大学(橋本 伸哉) ●東京薬科大学(藤原 祺多夫、熊田 英峰) ●東海大学(中田 喜三郎)

●本研究プロジェクトの詳細については、以下のホームページでもご覧いただけます。

<http://www.airies.or.jp/wise/j/J97D0200.htm>

<http://www.airies.or.jp/wise/j/J99D0200.htm>

<http://www.airies.or.jp/wise/j/J02D0200.htm>

http://www.env.go.jp/earth/suishinhi/jpn/projects_underway/pdf/D2.pdf



海は地球表面の70%以上を占め、私たち人類にさまざまな便益を提供していますが、人間活動に起因する汚染が進行しています。汚染の影響は、自然の生態系に顕著にあらわれます。世界のさまざまな海域から海産ほ乳類や鳥類の大量死が報告され、多くの場合、有害化学物質による汚染が原因と考えられているのはその好例でしょう。

海洋はアクセスしにくいなど、研究対象としての難しさをもっています。海水中の化学物質についても、沿岸部を除くとほとんどわかっていないのが実情です。国立環境研究所は1991年から、海運会社の協力を得て、客船、フェリー、タンカー、貨物船に観測装置を搭載する方法で調査研究を行ってきました。その対象は、世界の海域に広がっています。

遠く離れた海洋も人間活動の影響を鋭敏に受けていること、南極や北極の周辺の海水からも有害化学物質が検出されること、化学物質の移動をとおして海洋が大気と密接に連動していることなど、多くの発見がありました。本号では、世界でも例のないこのユニークな研究を、研究者がどのように考えどのように実施してきたかについても報告しています。この特集が、地球規模で進行している海洋汚染の低減への糸口になることを願っています。

2007年1月
理事長 大塚柳太郎

環境儀 No.23

—国立環境研究所の研究情報誌—

2007年1月31日発行

編集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG：田中 嘉成、刃刀 正行、原島 省、日暮 明子、
植弘 崇嗣、岸部 和美)

発行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所情報企画室 029(850)2343

(出版物の内容) // 広報・国際室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

<http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/index.html>

編集協力 社団法人国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13

「環境儀」既刊の紹介

NO.1	環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究	2001年 7月
NO.2	地球温暖化の影響と対策—AIM:アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル	2001年 10月
NO.3	干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究	2002年 1月
NO.4	熱帯林—持続可能な森林管理をめざして	2002年 4月
NO.5	VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染	2002年 7月
NO.6	海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO ₂ 吸収に関する研究	2002年 10月
NO.7	バイオ・エコエンジニアリング—開発途上国の水環境改善をめざして	2003年 1月
NO.8	黄砂研究最前線—科学的観測手法で黄砂の流れを遡る	2003年 4月
NO.9	湖沼のエコシステム—持続可能な利用と保全をめざして	2003年 7月
NO.10	オゾン層変動の機構解明—宇宙から探る 地球の大気を探る	2003年 10月
NO.11	持続可能な交通への道—環境負荷の少ない乗り物の普及をめざして	2004年 1月
NO.12	東アジアの広域大気汚染—国境を越える酸性雨	2004年 4月
NO.13	難分解性溶存有機物—湖沼環境研究の新展開	2004年 7月
NO.14	マテリアルフロー分析—モノの流れから循環型社会・経済を考える	2004年 10月
NO.15	干潟の生態系—その機能評価と類型化	2005年 1月
NO.16	長江流域で検証する「流域圏環境管理」のあり方	2005年 4月
NO.17	有機スズと生殖異常—海産巻貝に及ぼす内分泌かく乱化学物質の影響	2005年 7月
NO.18	外来生物による生物多様性への影響を探る	2005年 10月
NO.19	最先端の気候モデルで予測する「地球温暖化」	2006年 1月
NO.20	地球環境保全に向けた国際合意をめざして—温暖化対策における社会科学的アプローチ	2006年 4月
NO.21	中国の都市大気汚染と健康影響	2006年 7月
NO.22	微小粒子の健康影響—アレルギーと循環機能	2006年 10月

「環境儀」

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように、『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すべしという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・行路を書き込んでいくことが、環境研究に携わる者の任務であると考えています。

2001年7月
合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)



このロゴマークは国立環境研究所の英略文字N.I.E.Sで構成されています。
N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。
ロゴマーク全体が風を切って左側に進むようにする動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております