

Title	中国の水環境中における化学物質の分布
Sub Title	
Author	川田, 邦明(Kawata, Kuniaki) 及川, 紀久雄(Oikawa, Kikuo)
Publisher	慶應義塾大学産業研究所
Publication year	2001
Jtitle	KEO discussion paper. G : 『アジア地域における経済および環境の相互依存と環境保全に関する学際的研究』 (KEO discussion paper. G : "Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries"). No.G-138
JaLC DOI	
Abstract	有害性や残留性などが指摘されている化学物質のうち、PCB類、DDTと分解物(DDE及びDDD)、HCH類、ペンタクロロフェノール(PCP)及びヘキサクロロベンゼン(HCB)、ダイオキシン類及び多環芳香族炭化水素(PAH)類を対象として、中国国内における水環境中の分布に関する報告をとりまとめ、主に底質について日本における報告と比較した。その結果、PCBについては一部の地域を除き、日本における濃度範囲に入っていた。総DDT類及びHCH類は日本における濃度範囲にあったが、日本に比べてより広域的に分布していると考えられた。PCP及びHCBは中国における報告例は極めて少ないが、広域的に分布している可能性が考えられた。また、ダイオキシン類及び代表的なPAHであるベンゾ[a]ピレンについても、日本と同レベルにあると推測されるが、中国における報告例は極めて少ないため、今後、広域的に分布を調査する必要があるものと考えられる。
Notes	表紙上部に"日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業複合領域「アジア地域の環境保全」"の表示あり
Genre	Technical Report
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA12113622-00000138-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

中国の水環境中における化学物質の分布

川 田 邦 明
及 川 紀久雄

No.G-138

学振未来 WG4-31

中国の水環境中における化学物質の分布

川田邦明、及川紀久雄

2001 年 11 月

キーワード

底質、PCB、DDT、HCH、PCP、HCB、ダイオキシン、多環芳香族炭化水素

有害性や残留性などが指摘されている化学物質のうち、PCB 類、DDT と分解物 (DDE 及び DDD)、HCH 類、ペンタクロロフェノール (PCP) 及びヘキサクロロベンゼン (HCB)、ダイオキシン類及び多環芳香族炭化水素 (PAH) 類を対象として、中国国内における水環境中の分布に関する報告をとりまとめ、主に底質について日本における報告と比較した。その結果、PCB については一部の地域を除き、日本における濃度範囲に入っていた。総 DDT 類及び HCH 類は日本における濃度範囲にあったが、日本に比べてより広域的に分布していると考えられた。PCP 及び HCB は中国における報告例は極めて少ないが、広域的に分布している可能性が考えられた。また、ダイオキシン類及び代表的な PAH であるベンゾ[a]ピレンについても、日本と同レベルにあると推測されるが、中国における報告例は極めて少ないため、今後、広域的に分布を調査する必要があるものと考えられる。

中国の水環境中における化学物質の分布

川田邦明*、及川紀久雄**

2001 年 11 月

1. はじめに

化学物質とは、本来、化学的な知識や技術などを基に人が作り出した物質のことである。その種類は数え方によるが、アメリカ化学会のケミカルアブストラクツによれば約3000万種にのぼり、1週間で6000種ずつ増加しているともいわれている（Botkin and Keller、2000）。国内で流通している化学物質についても種類や生産量は年々増加している（環境省、2001b）。化学物質は様々な有用性を持ち、塗料、合成樹脂、合成洗剤、化粧品、医薬品などの製造に用いられ、人類の生活向上に多大な寄与をしてきた。しかし、化学物質の中には、発ガン性や内分泌攪乱作用などの予想外の悪影響を生ずる物質も存在することがわかってきた。また、ダイオキシン類など、人類の活動を通じて非意図的に生成される物質も存在し、化学物質の問題をより複雑にしている。これらの化学物質は非意図的（生成）化学物質と呼ばれる。非意図的の化学物質に対して、人類が意図的に生産した化学物質は、意図的（生成）化学物質と呼ばれることもある。

我が国では、化学物質の有害性の審査や製造・輸入・使用の規制は「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」（化審法）や「農薬取締法」などに基づいて実施されている（川田ほか、1999）。化学物質のうち、環境基準値やそれに相当する値が示されているものは必ずしも多くはないが、未規制の化学物質を含む数百種程度の化学物質については、既に環境中の存在や挙動について調査や研究が行われており、たとえば、環境省環境保健部環境安全課では、昭和 49 年度以来、約 800 種の化学物質について環境調査を実施している（環境省、2001a）。

本稿では、意図的の化学物質のうち有機塩素化合物類である PCB 類、DDT 類と分解物、HCH 類、ペンタクロロフェノール（PCP）及びヘキサクロロベンゼン（HCB）を、非意図的の化学物質のうちダイオキシン類及び多環芳香族炭化水素（PAH）類を対象として、中国国内における分布に関する報告のうち、中国内外で 1996 年以降に発表された論文をとりまとめた。これらの物質は、後述するように、特に最近、人への健康影響や環境保全などの観点から問題となっている物質である。また、比較のために、日本における全国調査例についてもとりまとめた。

対象とした環境媒体は主に河川や沿岸部、湖沼などの底質である。底質とは河川などの底に積もった土砂などのことで底泥や堆積物ともいわれる。水に溶けにくく分解しにくい物質は、河川などに流入すると、まず、水中の浮遊物質に吸着し、やがて底質に移行する（Hong、1999）。さらに食物連鎖により生物体内に移行すると考えられる。化学物質には水に溶けにくいものが比較

* 新潟県保健環境科学研究所

** 新潟薬科大学

的多いため、底質の調査は水環境における汚染状況の把握や動態の解明などに有効な手段と考えられる。

2. 対象とした化学物質

既に述べたように、本稿では7群の化学物質を対象とする。対象物質のうち、PCB 類、DDT 類、HCB 及びダイオキシン類については残留性有機汚染物質(POPs)に指定されている。POPs (Persistent Organic Pollutants; 残留性有機汚染物質)とは、(1) 環境中で分解しにくい(難分解性)、(2) 食物連鎖などで生物の体内に濃縮しやすい(高蓄積性)、(3) 長距離を移動して極地などに蓄積しやすい(長距離移動性)、(4) 人の健康や生態系に対し有害性がある(毒性)という性質をもつ化学物質のことで、人や生態系(環境)に悪影響を及ぼすことが懸念されている(環境省、白書 2001)。当面は表1に示す12物質を対象に、国際条約により世界的に製造・使用が禁止・制限されたり、非意図的生成の削減が求められたりしている。

表1 POPsに指定された化学物質

対応	物質名
製造・使用の禁止	アルドリン(殺虫剤)、ディルドリン(殺虫剤)、 エンドリン(殺虫剤)、クロルデン(殺虫剤)、 ヘプタクロル(殺虫剤)、トキサフェン(殺虫剤)、 マイレックス(防火剤*)、ヘキサクロロベンゼン(殺虫剤)、PCB(絶縁油、熱媒体等)
製造・使用の制限	DDT(殺虫剤) 注: マラリア対策用
非意図的生成物質の排出量削減	ダイオキシン類、フラン類、ヘキサクロロベンゼン、PCB

*: 殺虫剤としても使用された。

HCH 類及び PCP は内分泌攪乱作用を示す物質(環境ホルモン)である疑いが持たれている。PAH 類については発ガン性物質が含まれており、代表的な PAH であるベンゾ[a]ピレン(BaP)については、既に中国でも大気中の浮遊粉じんなどについて調査が行われている(関根ら、1998)。

2.1 PCB

PCB(図1)は熱媒体や絶縁油として使用されたほか、ノーカーボン紙などにも使用された。POPsに指定され、製造・使用が禁止されるとともに、非意図的な生成の削減が求められている。また、内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質のひとつである。後述するように、PCBのうちコプラナ PCB と呼ばれる化合物は、毒性が強く、ダイオキシン類のひとつとして規制されている。中国においても過去に製造・使用されている。

日本においては、1972年には製造が中止され、1974年に第1種特定化学物質に指定され、閉鎖系での使用を除き製造、輸入、使用が禁止されている。しかし、国内では PCB を含有するトラン

ス、コンデンサ、感圧紙などが保管されたり、使用されているほか、PCB(液状)やPCBを含む汚泥などがある。PCBの適正な保管・管理・回収が必要とされ、さらに、適正な処理技術の確立が望まれている。

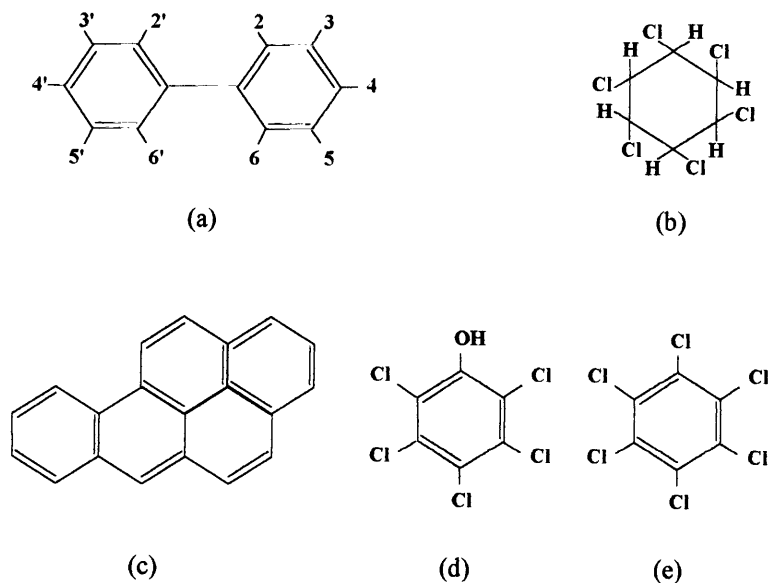


図1 対象化合物の構造

2.2 DDT 及びその分解生成物

DDT は有機塩素系の物質で殺虫剤として使用され

(a) PCB (2～6'の水素が塩素に置換されたもの), (b) ヘキサクロロシクロヘキサン(HCH), (c) ベンゾ[a]ピレン(BaP), (d) ペンタクロロフェノール(PCP), (e) ヘキサクロロベンゼン (HCB)

た。特にマラリアを感染させる蚊や発疹チフスを感染させる蚤の撲滅に威力を発揮した。POPsに指定されているが、現在も製造され、マラリア対策に限定されて使用が認められている。DDTの主成分は p,p' -DDTであるが、環境中における分解生成物である p,p' -DDE、 p,p' -DDDとともに内分泌攪乱作用を有すると疑われている。DDT及びその分解生成物の構造を図2に示す。中国では1983年に使用が禁止された(Xu et al., 2000)。日本においては、農薬としての使用・販売は1971年に中止され、1981年には化審法により第一種特定化学物質に指定された。

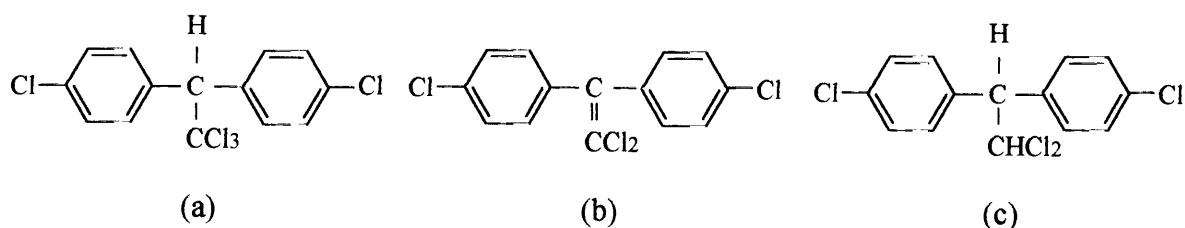


図2 DDT 類の構造 (a) p,p' -DDT, (b) p,p' -DDE, (c) p,p' -DDD

2.3 ヘキサクロロシクロヘキサン (HCH)

HCHはBHC(ベンゼンヘキサクロライド)ともよばれており(図1)、 α -、 β -、 γ -及び δ -の異性体があり、 γ -HCHはリンデンともよばれている。農薬などの合成時に副生成物として生成されることが知られており、殺虫剤として製造・使用された。HCH類はPOPsには指定されていないが、内分泌攪乱作用を有すると疑われている。中国では1983年に使用が禁止された(Li et

al., 1998) が、 γ -HCH は森林管理に使用されている (Fu et al., 2001)。日本では農薬として使用されていたが、1971 年以降使用・販売が中止されている。

2.4 ペンタクロロフェノール (PCP)

PCP(図 1)は有機合成の原料として製造・使用されたほか、PCP 又はナトリウム塩などの形で殺虫剤や木材の防腐剤や除草剤として使用された。さらに、燃焼過程で生成することが指摘されている。中国では 1960 年代から使用されおり (Zheng et al., 2000)、1996 年頃には 5000 t が生産され、血液吸虫予防や鉄道の枕木の防腐などに用いられている (Wu et al., 1997)。日本では 1990 年に農薬登録が失効された。

2.5 ヘキサクロロベンゼン (HCB)

HCB(図 1)は有機合成の原料として使用されたほか、殺菌剤や防腐剤として使用された。燃焼過程で生成することが指摘されている。HCB については POPs に指定され、製造・使用が禁止されるとともに、非意図的な生成の削減が求められる。日本では 1979 年に化審法により第一種特定化学物質に指定され、実質的に生産・使用が中止されている。

2.6 ダイオキシン

ダイオキシン類は非意図的に生成する一群の化学物質で、除草剤 2,4,5-T などの製造過程で副生成物として生成したり、パルプの漂白過程やゴミなどの燃焼過程で生成することが指摘されており、2,3,7,8-テトラクロロジベンゾジオキシン(2,3,7,8-TCDD)など一部の同族体が極めて強い毒性を持つ。

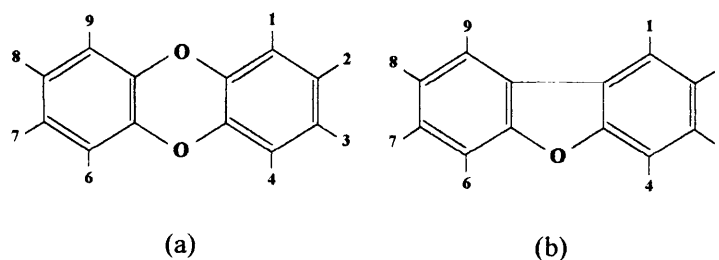


図 3 ダイオキシン類の構造

(a) ジベンゾ-*p*-ジオキシン, (b) ジベンゾフラン.

ダイオキシン類といわれるものは、(1)ジベンゾ-*p*-ジオキシンの 8 つの水素のうちいくつかは塩素で置換されたもの (PCDD 類)、(2)ジベンゾフランの 8 つの水素のうちいくつかは塩素で置換されたもの(PCDF 類)、及び(3)PCB のうち 2、2'、6、6'の位置に塩素がないか 1 個のもの (コプラナー-PCB 類) の総称で (図 1 及び図 3)、200 種以上の同族体が存在する。なお、調査例によってはコプラナー-PCB を含んでいない場合もある。

ダイオキシン類の毒性の強さは化合物により大きく異なっている。そこで、各化合物の濃度を最も毒性の高い 2,3,7,8-TCDD の量に換算して表示する。これを毒性等量(TEQ ; toxic equivalents)といい、pg-TEQ/g、ng-TEQ/g などの単位で表示する。ダイオキシン類は POPs に指定されており、非意図的な生成の削減が求められている。2,3,7,8-TCDD など強い発ガン性のある化合物もあり、また、内分泌攪乱作用の疑いがある。

2.7 多環芳香族炭化水素 (PAH)

PAH 類は化石燃料や木材などの燃焼に伴って生成するほか、石炭等の乾留でも発生する。環数が 2 (ナフタレン) 以上の化合物と、その置換体 (メチルナフタレン、ジメチルナフタレン) を対象としている。底質中には 100 種以上の PAH 類が存在すると考えられ (Kawata et al. 2000)、この中には BaP、ベンゾ[b]フルオランテン、ベンゾ[a]アントラセン等の発ガン性物質が含まれている。特に BaP については内分泌攪乱作用の疑いが持たれている。

3. 中国における水環境中の化学物質の分布

3.1 底質中における対象化学物質の分布

中国における底質中の PCB 類の報告例を図 4 に、DDT 類を図 5 に、HCH 類を図 6 に、ダイオキシン類、PCP 及び HCB を図 7 に、また、PAH 類を図 8 に示す。これらの研究は主に中国の東側の地域に集中している。この理由として、中国内外の学会誌などに公表されている論文で入手可能であったものが、限られた研究グループの論文に集中しているため、その調査フィールドを強く反映している可能性は否定できない。しかし、中国の西側は山間地であるために調査が困難と考えられることから、西側の地域における研究例は少ないことが想定される。また、東側の地域では工業化などの経済発展が著しく、人口も集中していることなどから、化学物質による水環境汚染の状況を把握するためにはこれらの地域における研究が重要であると判断される。

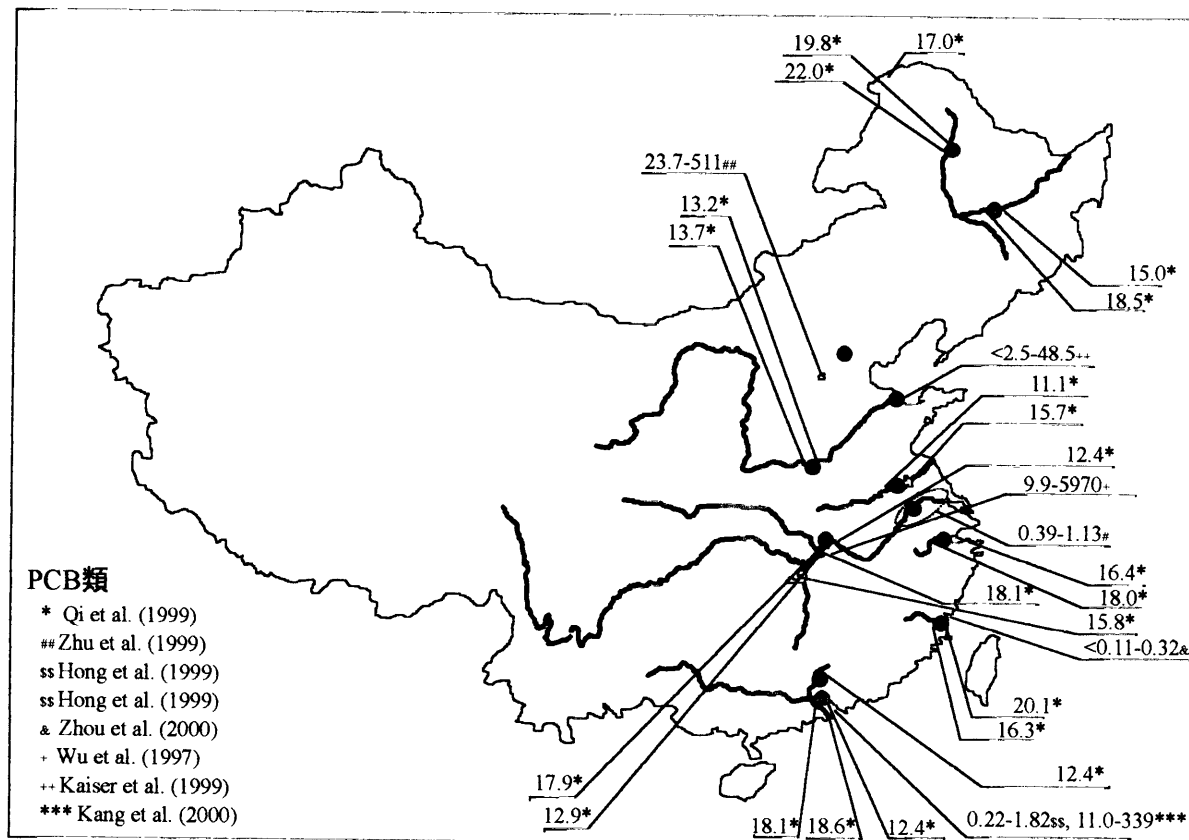


図 4 PCB 類(単位 : ng/g)

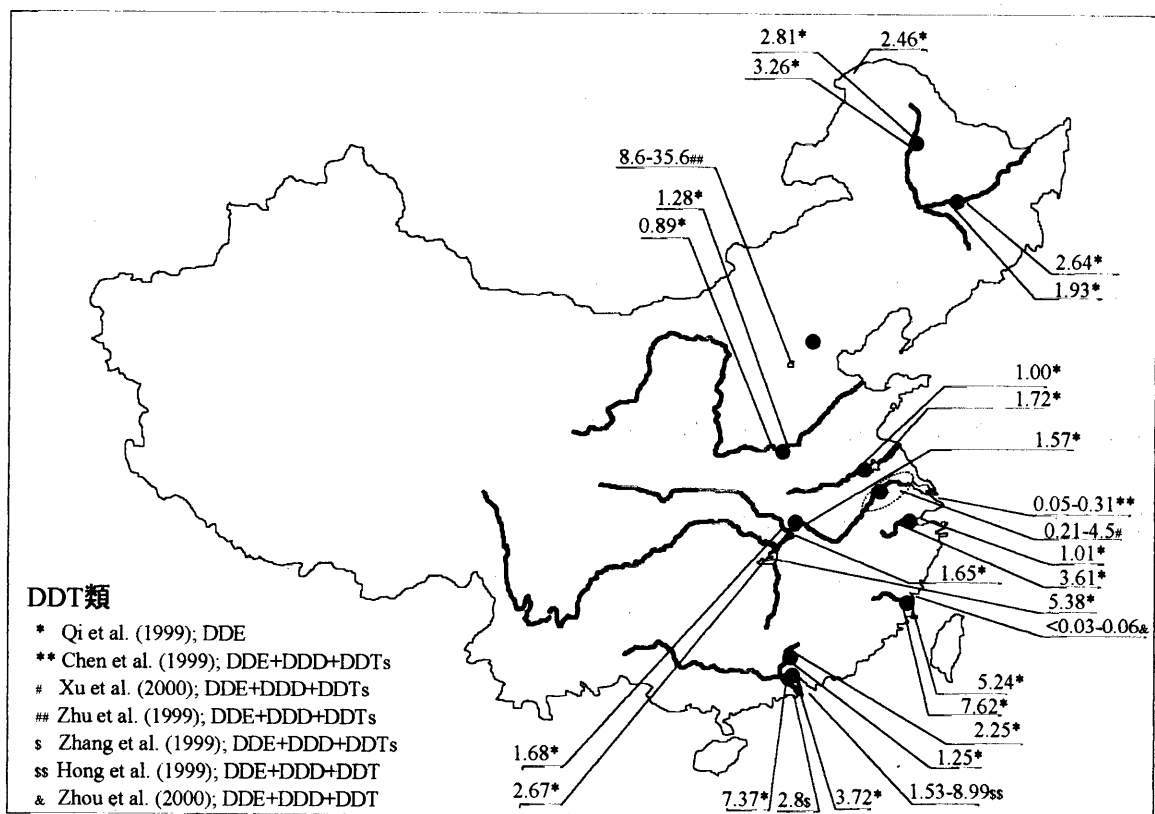


図5 DDT (単位 : ng/g)

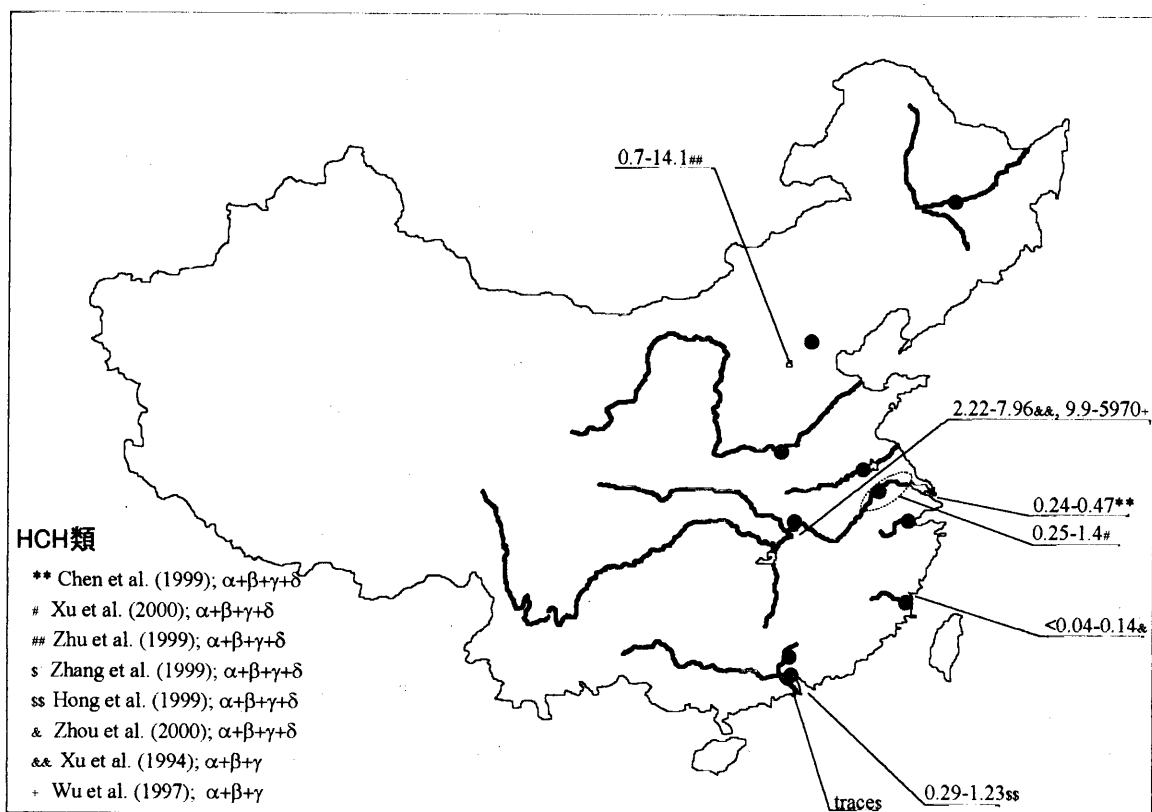


図6 HCH類 (単位 : ng/g)

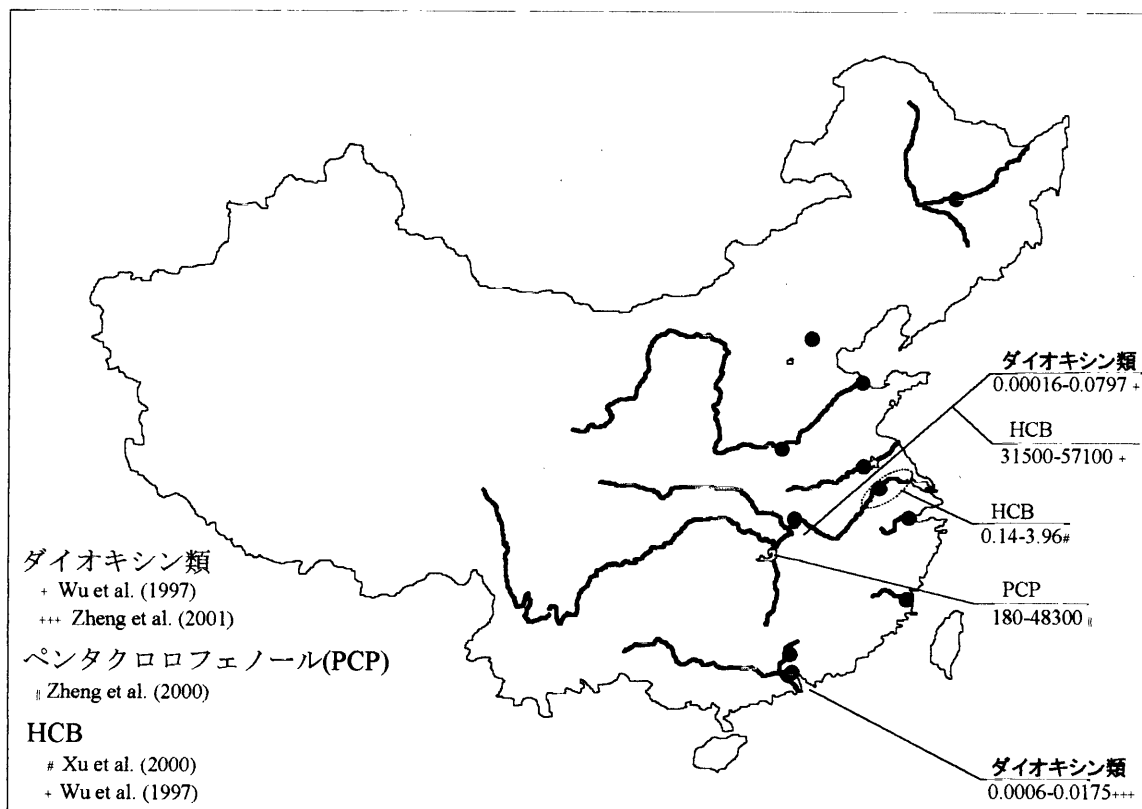


図7 ダイオキシン類、PCP及びHCB(単位: ng/g、ダイオキシン類は ng-TEQ/g)

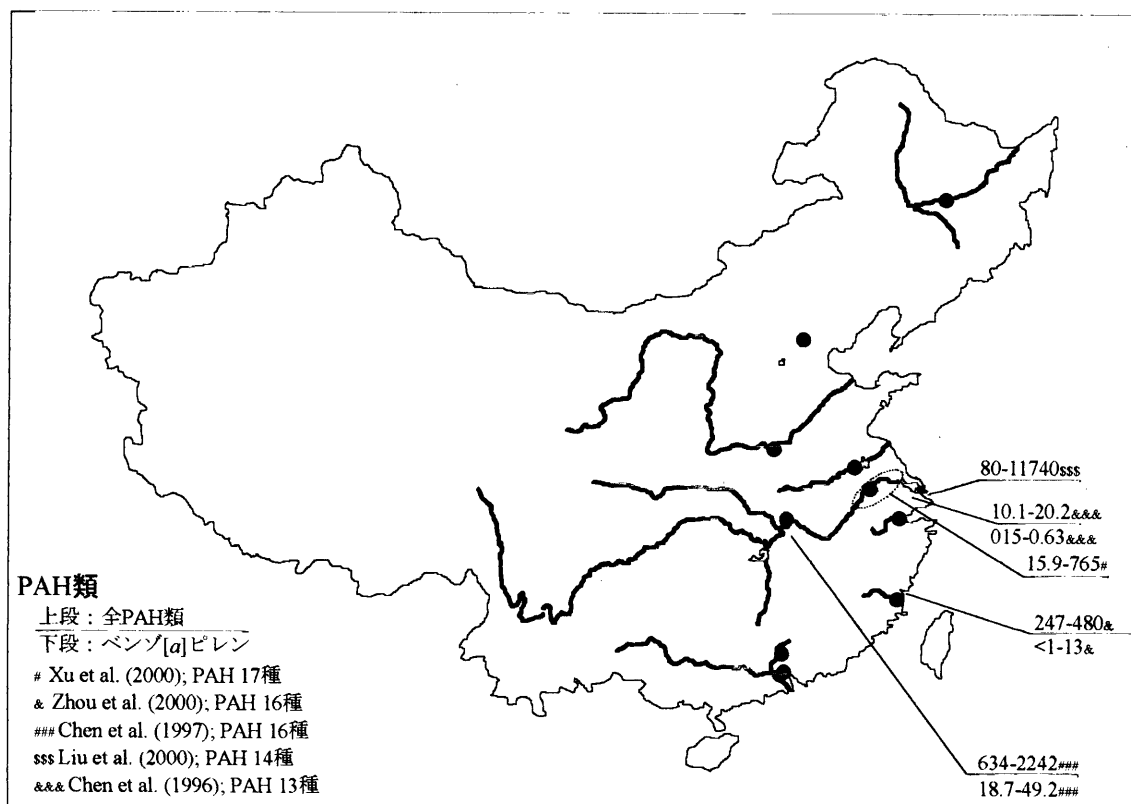


図8 PAH 類(単位: ng/g)

なお、中国の内陸部における研究例として、環境汚染物質の長距離輸送の検討を目的としたチベットにおける土壌中のHCH類（ α -、 β -、 γ -及び δ -）及びDDT類（ p,p' -DDT、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE及び p,p' -DDD）の調査例がある。DDT類は検出限界以下～2.83 ng/gであり、DDTを散布していた地域に比べはるかに低い値であった。HCH類は0.18～5.38 ng/gであり、農作地帯の1/70～1/150分の値であった。また農作地帯から遠隔の山岳地帯の値と近かった。HCH類のうち、揮発性の α -HCHと γ -HCHはいずれの試料でも検出されたこと、HCH製品中の α -HCH/ γ -HCHの値は5.3～6.67であるのに対し試料中のの平均値は0.77であったことから、チベットにおけるHCH類は長距離移動したものであると考察している。

3.2 中国における水環境中の対象化学物質に関する研究

中国における水環境中の化学物質に関する研究のうち、主に底質について本稿で対象とした各論文の概要を紹介する。

山東省東營行政区域(黄河デルタ地帯)において水、底質及び魚などのPCB類（6化合物）の濃度が報告されている（Kaiser, 1999）。水試料中のPCB濃度は検出下限値未満（ $<0.05 \mu\text{g/L}$ ）であったが、底質からは最大で48.5ng/gの総PCB類が検出された。一方、魚からは43.1 ng/g、カニからは1900 ng/gの総PCB類が検出された。

Kang et al. (2000) は香港とマカオを抱える珠江（広州市）の河口デルタとその沖合いで底質中のPCB類を調査した。その結果、PCB濃度は、珠江の広州の産業区域に近い地点で最高(485 ng/g)であり、下流に向かって距離と共に急速に低下した。

Qi et al. (1999) は中国の12河川において、流域の主要な都市の上流側と下流側で底質中のPCB類とDDEの濃度を測定している。PCB類は10～22ng/g、DDEは0.89～7.62ng/gであった。PCB濃度は河川によって基本的には変わらなかった。12河川におけるPCB濃度と組成は類似しており、4塩化物及び5塩化物が卓越していた。これらの結果から、中国東部の12河川におけるPCB汚染は点汚染源よりもむしろ大気沈降によるものと考察している。

Zhou et al. (2000) はアモイ経済特別区のアモイ港で、水質及び底質中のPCB類、DDT類（ p,p' -DDT、 p,p' -DDE及び p,p' -DDD）、HCH類（ α -、 β -、 γ -及び δ -）、PAH類16種などを測定した。その結果、対象とした物質は表面水よりも底質の間隙水中に高いレベルで存在していることから、間隙水から表面水へ対象物質が流れ込んでいると推定した。また調査した1998年における底質中の濃度は1993年の調査時よりも1～数桁低下したことから、汚染物の流入が削減されたと報告している。

揚子江下流で湖北省武漢市東部に位置するYa-Er湖地域の底質及び土壌中におけるPCB類、HCH類（ α -、 β -、 γ -及び δ -）、ダイオキシン類（PCDD類及びPCDF類）及びHCBの調査結果がWu et al. (1997) により報告されている。全PCBについては底質は9.90～5970 ng/g、土壌は7.10～8.20 ng/g、HCH類については底質は3.82～21.2 ng/g、土壌は1.26～5.66 ng/g、HCBについては底質は31500～57100 ng/g、土壌は35400～37700 ng/g、また、ダイオキシン類については、底質は0.00016～0.0797 ng-TEQ/g、土壌は0.00011～0.00015 ng-TEQ/gであった。これらのうち、ダイオキシン類とPCB類については7塩素化ダイオキシンと8塩素化ダイオキシン、並びに塩素数の少ないPCB類の濃度が高いことから、これらの化合物は排水により供給され、微生物分解を受けたものと推定している。

Xu et al. (2000a, 2000b) は揚子江の南京付近で底質中の PCB 類 (6 種)、DDT 類 (p,p' -DDT、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE 及び p,p' -DDD)、HCH 類 (α -、 β -及び γ -)、HCB 及び PAH 類 17 種などを測定した。その結果、いずれの地点でも対象化合物濃度の割合は類似しており、塩素系化合物濃度は南京の下流側で特に高濃度であった。また、DDT 類と HCH 類については過去に大量に使用されたにもかかわらず、DDT 類と HCH 類の濃度は比較的低かった。さらに、PAH 類の高濃度地点は造船所、道路又は石炭炉の影響を受けていると推定した。

Hong et al. (1999) は珠江の河口部で、DDT 類 (p,p' -DDT、 p,p' -DDE 及び p,p' -DDD)、HCH 類 (α -、 β -、 γ -及び δ -) 及び PCB 類を対象として、底質とともに河川中の浮遊粒子状物質における濃度を測定することにより、これらの物質が複数の河川から浮遊粒子状物質に吸着して運ばれ、河口部に堆積することを示した。また、Jiang et al. (2000a, 2000b) は揚子江の南京付近で河川水中の DDT 類、HCH、HCB 類について調査した結果、各々、57-65%、47-54%、85-94%が粒子状物質 (径 $0.7\mu\text{m}$ 以上) に存在したと報告している。

Zhu et al. (1999) は、河北省の白洋淀湖集水域で採取した底質、水および魚中の PCB 類、DDT 類 (p,p' -DDT、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE 及び p,p' -DDD) 及び HCH 類 (α -、 β -及び γ -) の測定結果から、DDT は 1983 年の生産および使用禁止にも関わらず広く分布しており、特に魚中に高レベルで存在していることを示した。そして、底質及び魚中の pp' -DDT/ pp' -DDE 比が低いことから、DDT 類の集水域への流入が最近起こったものでないとしている。

Chen et al. (1999) は揚子江河口部 (杭州湾) における DDT 類 (p,p' -DDT、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE 及び p,p' -DDD) 及び HCH 類 (α -、 β -、 γ -及び δ -) 濃度の垂直分布について報告している (図 9)。これによれば、DDT 類については 1960 年代前半、1970 年代前半及び 1970 年代後半に 20 ng/g を超える高濃度であり、HCH 類については 1970 年代前半及び 1970 年代後半に 10 ng/g を超える高濃度であった。しかし、1980 年代後半以降は DDT 類については、HCH 類については $0.10\sim 0.36\text{ ng/g}$ $0.043\sim 0.22\text{ ng/g}$ の範囲で推移していた。

Zhang et al. (1999) は、マカオ河口における DDT 類 (p,p' -DDT、 o,p' -DDT、 p,p' -DDE 及び p,p' -DDD) 及び HCH 類 (α -、 β -、 γ -及び δ -) 濃度の垂直分布について報告している。DDT 類は、1993 年に 79 ng/g と最高濃度となった以外は 1960 年代以降 1994 年までの間は定量下限値未満 $\sim 28.9\text{ ng/g}$ の範囲で推移しており、1995 年 $\sim$ 1996 年は $2.5\sim 2.8\text{ ng/g}$ であった。この理由として 1992 $\sim$ 1994 年の珠海における農耕地の急速な減少と建設投資拡大時期を反映したもので、 $(\text{DDD}+\text{DDE})/\text{DDT}$ や DDE/DDD の値から 1985 年以降に蓄積した

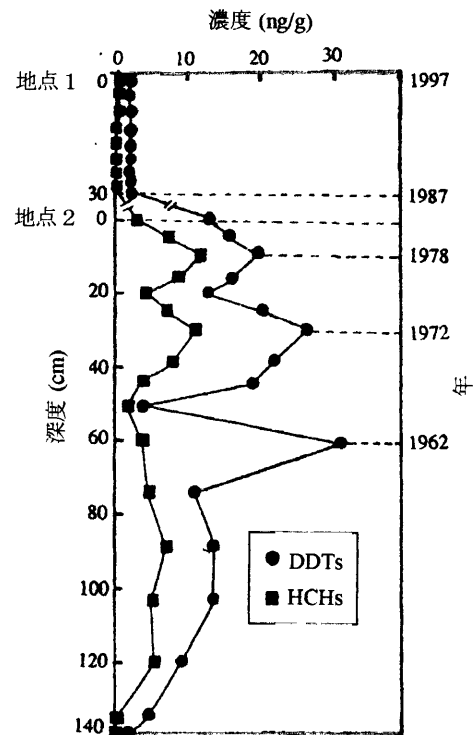


図 9 揚子江河口部における DDT 類及び HCH 類の垂直分布 (Chen et al., 1999)

DDT 類はそれ以前に蓄積したものに比べて陸上でより多く分解を受けていることを示した。そして、土壌に残る対象物質が大規模な土壌移動によって移動したために、マカオ河口の底質中の分布に寄与していると推定している。一方、HCH 類は 1970 年代から 1992 年の間は 11~44 ng/g の範囲で推移し、1993 年に 82.3 ng/g と最高濃度となった後は、定量下限値未満となった。

Ya-Er 湖地域における HCH 類 (α -、 β -及び γ -) の調査結果が Xu et al.(1994)により報告されている。それによれば、HCH 類濃度は、土壌では 1.30~5.75 ng/g、泥では 0.90~5.35 ng/g、米では 1.05~1.55 ng/g、種もみでは 0.66~1.03 ng/g、底質では 2.22~7.96 ng/g、カタツムリでは 4.30~23.1 ng/g、また、魚類では 5.10~50.15 ng/g で、底質、カタツムリ及び魚類の結果から、地点により HCH 濃度が大きく異なった。また、もみ中の HCH 類は土壌汚染が主因と推定している。

HCH 類については禁止令の出た 1983 年までの生産状況が報告されている。Li et al. (1998) によれば、中国では 1952 年から 1983 年の間に 4460 kt が使用され、単位面積あたりの平均使用量は 1.34 t/kha/年であった。この値は、日本における 1946 年~1970 年における 3.65 t/kha/年の 2.7 分の 1 に相当する。食品中の HCH 残留量は 1978 年と 1992 年の間に米で 1/5、魚で 1/127、鶏卵で 1/32、食肉で 1/32 に低下した。

珠江河口デルタ地域における底質中のダイオキシン類 (PCDD 類及び PCDF 類) が Zheng et al.(2001)により報告されている。その結果によれば、河川から 0.0007~0.0102 ng-TEQ/g、湾内で 0.0044~0.0175 ng-TEQ/g のダイオキシン類が検出され、その分布は PCB 類の分布と類似していた。

Zheng et al. (2000) は、洞庭湖の水、底質及び魚中の PCP 濃度を調査した。その結果、水から <0.005~103.7 μ g/L、底質から 180~42700 ng/g、また、魚から <10~630 ng/g の PCP が検出された。

Chen (1996) は江蘇省の大運河で採取した底質から、44 種の PAH 類を定量した。このうち最も高濃度であったのはピレン (4.91 ng/g) で BaP は 0.15~0.63 ng/g であった。Ya-Er 湖地域において柱状採取された底質中の 16 種の PAH 濃度が Chen et al.(1997)により報告されている。底質中の全 PAH 量は 68~2242 ng/g で、このうち BaP は 18.7~49.2 ng/g であった。また、1970 年以降、PAH 濃度が増加している原因として湖内への産業排水の流入を指摘している。

Liu et al. (2000) は揚子江河口の下排水排出口付近の底質中における 14 種の PAH 類の垂直分布を調べた。対象とした PAH 類は 2 環 (ナフタレン、メチルナフタレンなど) ~ 4 環 (ベンズ[e]アセナフテン) の環数の少ない化合物で、5 環の BaP などは含まれていない。その結果、PAH 類濃度は深さにより大きく異なり、1980~90 年代の下排水放出時期に高いことがわかった。また、PAH 類の由来として、石油由来の汚染によるもののほかに、石炭等の燃焼による大気汚染によるものがあるとしている。

4. 日本における底質中化学物質の分布

日本においては多くの研究結果が報告されているが、ここでは環境省の実施した全国調査のうち主なものについてとりまとめた。対象化合物のうち PCB 類、DDT 類、HCH 類、PCP、HCB 及び BaP については環境庁 (当時) などの省庁が環境ホルモン調査として 1998 年に全国調査を行った (環境庁 1999a、1999b)。DDT 類、HCH 類、HCB 及び BaP については 1986 年度から毎年底質調査を全国約 20 地点で実施している (環境省 2001a、1999c、1998)。ダイオキシン類について

は、様々な調査が行われてきたが環境庁（1998）、1998 年度に全国一斉緊急調査が実施され（環境庁 1999d）、1999 年度に全国の公共用水域で行われた調査結果が公表されている（環境庁 2000）。これらの調査結果を基に、日本国内における対象物質の濃度レベルを表 2 に示す。

PCB 類については検出率が比較的高いのに対し、DDT 類、HCH 類及び HCB については、大部分の地点では検出下限値未満であるが、一部の地点で検出されている。これらの地点では長期にわたり様々な排水が流入したため、過去においてその中に含まれていた対象物質の一部が底質に吸着し、現在は使用されていないにもかかわらず、依然として存在しているものと考えられる。なお、PCP についてはこの調査では検出されていない。

非意図的化学物質のうち、ダイオキシン類は広範囲で検出されている。1997 年度及び 1998 年度の中央値（コプラナー PCB を含まない）は 0.007205ng-TEQ/g (7.205 pg-TEQ/g) 及び 0.00023 ng-TEQ/g (0.23 pg-TEQ/g)、1998 年度及び 1999 年度の平均値（コプラナー PCB を含む）は各々 0.0077ng-TEQ/g (7.7 pg-TEQ/g) 及び 0.0054ng-TEQ/g (5.4 pg-TEQ/g) であった。特に 1997 年度については調査地点数が少ないなどの理由で単純な比較はできないが、概ね同レベルで推移していると考えられる。発生源や汚染機構については十分解明されているわけではないが、農薬の不純物由来や燃焼由来などが指摘されている。BaP などの PAH 類については、多くの地点で検出されている。これは、PAH 類は過去から現在まで環境中に排出されているためであり（川田ほか、1990）、測定地点における汚染状況を反映して濃度が大きく異なっている。

5. 日本と中国における底質中化学物質濃度の比較

ここでは、底質中の化学物質について、前述の中国における報告値（図 4～8）を日本の全国調査の結果（表 2）と比較することにより、濃度レベルや検出率の特徴などについて考察する。なお、日本の場合と同様に、中国においても、地域により化学物質濃度が大きく異なっている場合がある。例えば、既に紹介したように、揚子江下流の Ya-Er 湖地域の底質からは、他の地域と比較して高濃度の PCB 類 (9.90～5970 ng/g)、HCH 類 (3.82～21.2 ng/g) 及び HCB (31500～57100 ng/g) が検出されており (Wu et al., 1997)、この湖沼の流域において、相当量のこれらの物質が使用されたことを反映している。

5.1 PCB 類

環境庁の調査では（環境庁、1999b）、PCB は日本国内における 152 調査地点のうち、その 83% に相当する 126 地点で検出され、その濃度範囲は <0.02～1500 ng/g であった。これに対して、中国では、9.90～5970 ng/g と特に高濃度であった Ya-Er 湖地域（(Wu et al., 1997) を除き、<0.11～511 ng/g の範囲であった（図 4）。PCB 類は測定方法や測定対象とした PCB が必ずしも同一でないため単純な比較はできないが、日本における濃度範囲内であった。また、調査地点の大部分で検出された。なお、白洋淀湖集水域（河北省）では 13.8～511 ng/g（Zhu et al., 1999）と、Ya-Er 湖地域に次いで高濃度であるなど、中国における PCB の高濃度地域はいずれも湖沼であった。一方、日本における調査では、調査地点数は少ないが湖沼では 0.34～22 ng/g と中国に比べて低い濃度であり、最高値 (1500 ng/g) は都市部河川で観測されるなどの違いがあった（環境庁、1999b）。

表2 対象化合物の日本国内における濃度レベル(単位: ng/g, ダイオキシン類は pg-TEQ/g)

化合物名	調査年	試料	検出状況*	最小値	最大値	最大値地点名	文献
PCB 類	1998	河川	103/128	<0.02	1500	寝屋川 (大阪)	A
PCB 類	1998	海域	18/19	<0.02	120	東京湾(神奈川)	A
PCB 類	1998	湖沼	5/5	0.34	22	手賀沼 (千葉)	A
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1998	河川	0/84	<5**	<5**	—	B
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1998	海域	0/4	<5**	<5**	—	B
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1998	湖沼	0/6	<5**	<5**	—	B
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1997	全* ³	13/18	ND* ⁴	33	隅田川(東京)	C
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1998	全* ³	13/18	ND* ⁴	43	隅田川(東京)	D
DDT 類(DDT, DDD, DDE)	1999	全* ³	11/18	ND	27	隅田川(東京)	E
HCH 類(α , β , γ , δ)	1998	河川	0/84	<10**	<10**	—	B
HCH 類(α , β , γ , δ)	1998	海域	0/4	<10**	<10**	—	B
HCH 類(α , β , γ , δ)	1998	湖沼	0/6	<10**	<10**	—	B
HCH 類(α 及び β)	1997	全* ³	4/18	ND	10	隅田川(東京)	C
HCH 類(α 及び β)	1998	全* ³	1/18	ND	2.5	大和川(大阪)	D
HCH 類(α 及び β)	1999	全* ³	1/18	ND	16	洞海湾(福岡)	E
HCB	1998	河川	0/84	<10	<10	—	B
HCB	1998	海域	0/4	<10	<10	—	B
HCB	1998	湖沼	0/6	<10	<10	—	B
HCB	1997	全* ³	3/18	ND	7.5	洞海湾(福岡)	C
HCB	1998	全* ³	3/18	ND	7.8	洞海湾(福岡)	D
HCB	1999	全* ³	5/18	ND	4.1	洞海湾(福岡)	E
PCP	1998	河川	0/84	<10	<10	—	B
PCP	1998	海域	0/4	<10	<10	—	B
PCP	1998	湖沼	0/6	<10	<10	—	B
ダイオキシン類* ⁵	1997	河川	14/14	0.000002	0.01999	信濃川(新潟)	C
ダイオキシン類* ⁵	1997	海域	21/21	0.0000115	0.04932	大阪港(大阪)	C
ダイオキシン類* ⁵	1997	湖沼	5/5	0.0161	0.05068	霞ヶ浦(茨城)	C
ダイオキシン類* ⁶	1998	全	205	ND	0.26		F
ダイオキシン類* ⁶	1999	全	542	0.000066	0.23	倉敷川(岡山)	G
ベンゾ[a]ピレン	1998	河川	98/128	<1	3800	寝屋川 (大阪)	A
ベンゾ[a]ピレン	1998	海域	19/19	25	940	洞海湾 (福岡)	A
ベンゾ[a]ピレン	1998	湖沼	5/5	10	160	諏訪湖 (長野)	A
ベンゾ[a]ピレン	1997	全* ³	15/18	ND	1500	洞海湾(福岡)	C
ベンゾ[a]ピレン	1998	全* ³	15/18	ND	2100	大阪港(大阪)	D
ベンゾ[a]ピレン	1999	全* ³	14/18	ND	1700	洞海湾(福岡)	E

* 検出数/試料数. ** 各化合物の検出下限値, *³ 河川, 海域及び湖沼, *⁴ 未検出. *⁵ コプラナー-PCB を含まない. *⁶ コプラナー-PCB を含む. A: 環境庁 (1999b), B: 環境庁 (1999a), C: 環境庁 (1998), D: 環境庁 (1999c), E: 環境省 (2001a), F: 環境庁 (1999d), G: 環境庁 (2000).

5.2 DDT 類

環境庁の全国調査（環境庁、1999a）では、*p,p'*-DDT、*o,p'*-DDT、*p,p'*-DDE 及び *p,p'*-DDD は、日本国内 94 地点では検出されなかった。また、18 地点における継続調査では、1997、1998 及び 1999 年度に *p,p'*-DDT は 1、3 及び 2 地点で、*p,p'*-DDE は 12、13 及び 10 地点で、また、*p,p'*-DDD は 5、7 及び 7 地点で検出され、この間の最大値は、総 DDT 類で 43 ng/g であり、このうち、*p,p'*-DDT では 7.6 ng/g、*p,p'*-DDE では 25 ng/g、また、*p,p'*-DDD では 7.6 ng/g であった（環境省、2001a）。中国における調査結果（図 5）では、総 DDT 類濃度は 0.01~35.6 ng/g の範囲にあったことから、日本と同様の範囲にあると考えられた。このうち、総 DDT 類が 8.6~35.6 ng/g と最も高濃度で検出された白洋淀湖集水域（河北省）では、*p,p'*-DDT は検出下限値未満~5.4 ng/g、*o,p'*-DDT は検出下限値未満~13.4 ng/g、*p,p'*-DDE は 4.1~17.0 ng/g、また、*p,p'*-DDD は検出下限値未満~10.7 ng/g であった（Zhu et al.、1999）。総 DDT 類に占める分解生成物の割合については同一地域内でも変動が大きいと、日中間で明確な違いを明らかにすることはできなかった。一方、調査地点の全てで DDT 類が検出されており、日本に比べて広域的に DDT 類が分布していると考えられる。

5.3 HCH 類

環境庁の全国調査（環境庁、1999a）では、HCH 類は、日本国内 94 地点では DDT 類と同様に検出されなかった。また、18 地点における継続調査では、1997、1998 及び 1999 年度に α -HCH は 1、1 及び 0 地点で、 β -HCH は 3、1 及び 1 地点で検出され、最大値は、 α -HCH では 0.42 ng/g、 β -HCH では 16 ng/g であった（環境省、2001a）。これに対して、中国における調査結果（図 6）では、総 HCH 類濃度は、特に高濃度の Ya-Er 湖地域で 3.82~21.18 ng/g (Wu et al.、1997)、白洋淀湖集水域（河北省）で 0.7~14.1 ng/g (Zhu et al.、1999)、また、その他の地域では 0.18~1.61 ng/g の範囲であった。これらの値は日本における調査結果とほぼ同様の範囲にあると考えられるが、調査地点の大部分で検出されていたことから、DDT 類の場合と同容易、日本に比べて広域的に分布しているものと考えられる。

5.4 PCP 及び HCB

PCP は環境庁の全国調査（環境庁、1999a）では日本国内 94 地点からは検出されなかった。これに対して、中国では、報告例は少ないが洞庭湖から 180~42700 ng/g の範囲で検出されている（Zheng et al.、2000）。中国における PCP の使用状況から、広域的に分布している可能性が考えられる。

HCB は日本国内 94 地点からは検出されなかった（環境庁、1999a）。また、18 地点における継続調査の結果、1997~1999 年度に 3~5 地点で検出され、最大値は 7.8 ng/g であった（環境省、2001a）。これに対して、中国では、Ya-Er 湖地域で 31500~57100 ng/g (Wu et al.、1997)、揚子江（南京付近）で 0.14~3.96 ng/g (Xu et al.、2000a、2000b) であり、いずれも調査した全地点で検出されていることから、HCH 類などと同様に、広域的に分布している可能性が考えられる。

5.5 ダイオキシン類

環境庁の全国調査（環境庁、1998、1999d、2000）ではダイオキシン類は日本国内の調査地点のうち大部分で検出され、その濃度範囲は、542 地点と最も調査地点数の多い 1999 年度調査（コプ

ラナーPCBを含む)では0.000066～0.23 ng-TEQ/g (0.066～230 pg-TEQ/g)であった(環境庁、2000)。また、1998年度の調査(205地点)では、コプラナーPCBを含む値は検出下限値未満～0.26 ng-TEQ/g (260pg-TEQ/g)、コプラナーPCBを含まない値は検出下限値未満～0.23 ng-TEQ/g (230 pg-TEQ/g)であった(環境庁、1999d)。一方、中国では、いずれもコプラナーPCBを含まない値として、Ya-Er湖地域(Wu et al., 1997)で0.00016～0.0797 ng-TEQ/g (0.16～79.7 pg-TEQ/g)、また、珠江河口デルタ地域(Zheng et al., 2001)で0.0007～0.0175 ng-TEQ/g (0.7～17.5 pg-TEQ/g)という報告がある(図7)。中国におけるダイオキシン類の報告例は極めて少ないが、これらの報告値はいずれも日本における濃度範囲に入っていた。中国においても、日本と同様に広域的にダイオキシン類で汚染されている可能性が考えられることから、全国的な調査を行う必要がある。

5.6 BaP

PAH類については中国でも種々の報告があるが、日本などと同様に、対象とするPAHが論文により異なる。そこで、代表的なPAHであるBaPについて比較する。環境庁の調査では(環境庁、1999b)、BaPは日本国内152地点のうち、80%に相当する122地点で検出され、その濃度範囲は<1～3800 ng/gであった。また、18地点における継続調査の結果、1997～1999年度に14～15地点で検出され、最大値は2100 ng/gであった(環境省、2001a)。中国における調査結果(図8)では、Ya-Er湖地域で18.7～49.2 ng/g (Chen et al., 1997)、アモイ港で<1～13 ng/g (Zhou et al., 2000)、また、江蘇省の大運河で0.15～0.63 ng/g (Chen, 1996)であった。これらの値はいずれも日本における濃度範囲に入っていた。中国におけるPAH類の報告例は少ないことから、中国においても日本と同様に、都市部や工業地域などを中心に広域的に汚染されている可能性が考えられ、全国的な調査を行う必要があろう。

引用文献

- Botkin, D.B. and Keller, E.A. (2000). "Environmental Science", third edition, Wiley, New York.
- Chen, J. (1996). GC and GC/MS methods for analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in sediment of the Grand Canal of China. *Toxicol. Environ. Chem.*: **54**, 69-73.
- Chen, J.F., Ye, X.-R., Zhou, H.-Y., Xia, X.-M., Zheng, S.-L. (1999). Preliminary study on the marine organic pollution history in Changjiang Estuary-Hangzhou Bay-BHC and DDT stratigraphical records. *Zhongguo Huanjing Kexue* (中国環境科学): **19**, 206-210.
- Chen, G.S., Xu, Y., Zhang, Y.Y., Schramm, K.-W., Klimm, C. and Kettrup, A. (1997). Polycyclic aromatic hydrocarbons in Ya-Er Lake (Hubei, China): sources and distribution. *Fresenius J. Anal. Chem.*: **359**, 280-284.
- Fu, S., Chu, S. and Xu, X. (2001). Organochlorine pesticide residue in soils from Tibet, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*: **66**, 171-177.
- Hong, H., Chen, W., Wu, L., Wang, X. and Zhang, L. (1999). Distribution and fate of organochlorine pollutants in the Pearl River estuary. *Mar. Pollut. Bull.*: **39**, 376-382.
- Jiang, X., Martens, D., Schramm, K.-W., Kettrup, A., Xu, S.F. and Wang, L.S. (2000a). Polychlorinated

- organic compounds (PCOCs) in waters, suspended solids and sediments of the Yangtse River. *Chemosphere*: **41**, 901-905.
- Jiang, X., Xu, S.-F., Martens, D. and Wang, L.-S. (2000b). Polychlorinated organic contaminants in waters, suspended solids and sediments of the Nanjing section, Yangtze River. *Zhongguo Huanjing Kexue* (中国环境科学): **20**, 193-197.
- Kaiser, J., Wang, Z. and Zhang, J. (1999). Environmental pollution monitoring in Dongying administrative area, Yellow River delta, Shandong province, China. Part 1. PCBs and volatile aromatic compounds in the aquatic environment. *Toxicol. Environ. Chem.*: **72**, 45-59.
- Kang, Y., Sheng, G., Fu, J., Mai, B., Zhang, G., Lin, Z. and Min, Y. (2000). Polychlorinated biphenyls in surface sediments from the Pearl River delta and Macau. *Mar Pollut Bull.*: **40**, 794-797.
- Kawata, K., Tanabe, A., Mitobe, H. and Yasuhara, A. (2000). Identification of hydrocarbons and oxygen compounds in sediments from Niigata, Japan. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*: **65**, 660-667.
- Li, Y.F., Cai, D.J. and Singh, A. (1998). Technical hexachlorocyclohexane use trends in China and their impact on the environment. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*: **35**, 688-697.
- Liu, M., Yu, L., Xu, S., Baugh, P.J. and Hutchinson, S.M. (2000). Historical record and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in core sediments from the Yangtze Estuary, China. *Environ. Pollut.*: **110**, 357-365.
- Qi, M., Blunt, J., Chen, J. and Gao, X. (1999). Determination of polychlorinated biphenyl congeners in sediment samples of twelve rivers in eastern China. *Toxicol. Environ. Chem.*: **71**, 497-508.
- Wu, W.Z., Xu, Y., Schramm, K.-W., Henkelmann, B., Yediler, A. and Kettrup, A. (1997). PCDD/Fs, PCBs, HCHs and HCB in sediments and soils of Ya-Er Lake area in China: results on residual levels and correlation to the organic carbon and the particle size. *Chemosphere*: **34**, 191-202.
- Xu, S., Jiang, X., Dong, Y., Sun, C., Feng, J., Wang, L., Martens, D. and Gawlik, B.M. (2000a). Polychlorinated organic compounds in Yangtse River sediments. *Chemosphere*: **41**, 1897-1903.
- Xu, S., Jiang, X., Wang, X., Tan, Y., Sun, C., Feng, J., Wang, L., Martens, D., Gawlik, B.M. (2000b). Persistent pollutants in sediments of the Yangtse River. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*: **64**, 176-183.
- Xu, Y., Zhang, Y., Oxyenos, K., Schmitzer, J. and Kettrup, A. (1994). Hexachlorocyclohexane (HCH) residues in Ya-Er lake area, China. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*: **57**, 53-61.
- Zhang, G., Min, Y.S., Mai, B. X., Sheng, G.Y., Fu, J.M. and Wang, Z.S. (1999) Time trend of BHCs and DDTs in a sedimentary core in Macao Estuary, southern China. *Mar. Pollut. Bull.*: **39**, 326-330.
- Zheng, M.-H., Chu, S.-G., Sheng, G.-Y., Min, Y.-S., Bao, Z.-C. and Xu, X.-B. (2001). Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in surface sediments from Pearl River Delta in China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*: **66**, 504-507.
- Zheng, M.-H., Zhang, B., Bao, Z.-C., Yang, H. and Xu, X.-B. (2000). Analysis of pentachlorophenol from water, sediments, and fish bile of Dongting Lake in China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*: **64**, 16-19.
- Zhou, J.L., Hong, H., Zhang, Z., Maskaoui, K. and Chen, W. (2000). Multi-phase distribution of organic micropollutants in Xiamen Harbour, China. *Water Res.*: **34**, 2132-2150.
- Zhu, X., Liu, J. and Soedergren, A. (1999). Occurrence and distribution of organochlorine residues and metals in sediment, water and fish in the catchment area of Lake Baiyangdian, China. *Toxicol. Environ.*

Chem.: 68, 287-296.

環境省 (2001a) 平成 12 年度版化学物質と環境、環境省環境保健部環境安全課。

環境省 (2001b) 平成 13 年度版環境白書、ぎょうせい、東京。

環境庁 (1998) 平成 10 年度版化学物質と環境、環境省環境保健部環境安全課。

環境庁 (1999a) 環境ホルモン戦略 SPEED'98 関連の農薬等の環境残留実態調査の結果について、環境庁水質保全局土壌農薬課。

環境庁 (1999b) 水環境中の内分泌攪乱化学物質 (いわゆる環境ホルモン) 実態調査、環境庁水質保全局水質管理課。

環境庁 (1999c) 平成 11 年度版化学物質と環境、環境省環境保健部環境安全課、東京。

環境庁 (1999d) ダイオキシン類緊急全国一斉調査結果について (平成 10 年度実施)、環境庁水質保全局。

環境庁 (2000) 平成 11 年度公共用水域等のダイオキシン類調査結果について、環境庁水質保全局。

川田邦明、家合 浩明、茨木 剛、田辺顕子 (2000)。環境と化学物質、環境地質科学研究所研究年報、11 : 39-54。

関根嘉香、大歳恒彦、橋本芳一 (1998)。中国烏魯木斎市の都市大気中エアロゾル成分の濃度分布と季節変化に関する考察、Keio Economic Observatory Discussion Paper、No.32、慶応義塾大学産業研究所。