

## 英国における環境ホルモンに対する取り組み

株式会社日水コン

住山真

### 一、はじめに

人体の健康や魚介類等の水生生物への影響が懸念されている内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)について、我が国においても、多摩川における雄の雌化や琵琶湖におけるアユの縄張り意識の低下、あるいは、二十才代男性の精子数の減少などの環境問題が指摘されるようになってきました。

下水道の分野においても、平成十年五月末より、建設省河川局及び建設省都市局下水道部によつて、「水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査」を全国的な視点から、代表的な一級河川及び主要な下水処理場を対象に、

環境ホルモン物質の実態調査に着手したばかりと伺っております。

しかしながら、これらのホルモン物質が与える人体や生態系に対する影響はどの程度であるのか?あるいは物質濃度をどのような方法で定量化するのか?等の基本的な問題にはじまり、これらの原因物質の発生源や対策をどのように講じていけば良いのか?など、今後どのように対策を講じていけば良いかは緊急的な課題となっております。

本日は、環境ホルモンに関する研究を先駆的に取り組んでいる英国の環境庁等の行政機関、研究機関等を訪問し、行政サイドの対策へ向け

での取り組み方、研究機関における詳細な実験方法の確認、水会社における配慮事項など、環境ホルモン対策に関する情報収集を行いましたので、ここに報告したいと思います。

## 二、環境ホルモンについて

はじめに、皆さんもご存じとは思いますが、環境ホルモンという言葉が世に広まりましたのは、「奪われし未来」という一冊の本であったと思います。私は、昨年開かれました下水文化研究会主催の年次講演会において、稲場先生の方から、この本の記述内容はまさに「現代に起こった第二の沈黙の春」であるとその重要性を指摘されていましたので、すぐに購入致しました。しかし、見たことの無いような単語や化学記号ばかりが並んでいて、正直なところ、なかなか読む気になれませんでした。

まず、言葉の定義についてですが、環境ホルモンとは、「外因性内分泌攪乱化学物質」と呼ばれ、動物の生体内に取り込まれた場合に、本

来その生体内で営まれている正常なホルモン作用に影響を与える外因性物質を意味します。

既に野生生物への影響として、表・一のように報告がまとめられており、今回訪問した英国では、ニジマス、ローチ(鯉の一種)の雌性化、雌雄同体化、個体数の減少、等が報告されています。また、人間への影響として、若年男性の精子数が減少していることなどが、最近、マスメディアを通じて報道されています。次に、環境ホルモン物質として、さも人間が持っているホルモン作用を模倣する化学物質として、表・二のような合成化学物質があります。

## 三、CEFAS (The Centre for Environment Fisheries & Aquaculture Science)

最初に訪問したCEFASは一九九七年四月一日にMAFF(農水省)の漁業調査局(Fisheries Research)により設立された行政機関であり、日本で云えば、水産庁や都道府県の機関の水産試験所のようなところにあります。

CEFASは年間二千五百万ポンドの資本と

生物	場所	影響	推定される原因物質	報告した研究者
貝類	イボニシ 日本の海岸	雄性化、個体数の減少	有機スズ化合物	Horiguchi et al.(1994)
魚類	ニジマス 英国の河川	雌性化、個体数の減少	ノニルフェノール *断定されず	Sumpter et al.(1985)
	ローチ (鯉の一種) 英国の河川	雌雄同体化	ノニルフェノール *断定されず	Purdom et al.(1994)
	サケ 米国の五大湖	甲状腺過形成、個体数減少	不明	Leatherland(1992)
爬虫類	ワニ 米フロリダ州の湖	オスのペニスの矮小化、卵の孵化率低下、個体数減少	湖内に流入したDDT等 有機塩素系農薬	Guillette et al(1994)
鳥類	カモメ 米国の五大湖	雌性化、甲状腺の腫瘍	DDT、PCB *断定されず	Fry et al(1987) Moccia et al(1986)
	メリケンアジサシ 米国ミシガン湖	卵の孵化率の低下	DDT、PCB *断定されず	Kubiak(1989)
哺乳類	アザラシ オランダ	個体数の減少、免疫機能の低下	PCB	Reijnders(1986)
	シロイルカ カナダ	個体数の減少、免疫機能の低下	PCB	De Guise et al.(1995)
	ピューマ 米国	精巣停留、精子数減少	不明	Facemire et al.(1995)
	ヒツジ オーストラリア(1940年代)	死産の多発、奇形の発生	植物エストロジェン(クローバ由来)	Bennetts(1946)

備考 引用文献はすべて、「外因性内分泌攪乱化学物質問題に関する研究班中間報告書」による。

四〇人のスタッフと、イングランド及びウェールズの沿岸に五箇所の研究所を有しており、主として環境アセスメント及び環境保護政策の検討、

表・二 ホルモン作用を模倣する合成化学物質

用途	物質名称
非イオン界面活性剤	アルキルフェノール化学物質
エポキシ樹脂の原料	ビスフェノールA
プラスチック可塑剤	フタル酸化合物
農薬、除草剤	DDTなど
人畜ホルモン	17βエストラジオール エチニル・エストラジオール

漁業科学及びマネージメント、魚類及び無脊椎動物の養殖及び衛生対策等の分野の業務を行っています。

今回訪問したバーナムオンクローチ研究所では、ノニルフェノールなどの環境ホルモン物質に早くから着目し、分析方法の開発とローチ、ニジマス等の魚類を用いたバイオアッセイに関する研究を実施しています。ちなみに、魚類の雌化に下水放流水の与える影響が大きいことを世界で最初に指摘した研究所です。

CEFASでは下記のディスカッションを行いました。

- ・ CEFASの紹介
- ・ 河川、河口及び海岸における魚類のビデオゲニン調査
- ・ 下水処理場放流水とアルキルフェノール類の分布特性
- ・ ステロイド物質の分析方法と上下水道事業における対策検討

ディスカッションの一部で、イングランド・ウェールズ地方の河川及び河口部におけるアルキルフェノール濃度の実態調査結果に関する報告について紹介したいと思います。

代表的な界面活性剤、アルキルフェノールポリキシレート(APEOs)は、生産量において世界で三番目に大きく、過去五十年間にわたって、産業、家庭や商業などに幅広く用いられてきました。一九八〇年代にその使用量は増え続け、一九八九年におけるアメリカの生産量は年間十八万トン、一九九〇年、英国における一年間の消費量は一六、〇〇〇〜一九、〇〇〇トンに達し、その内、三七パーセントの六、五〇〇トンが水環境中に排出されたと云われています。

近年APEOsの使用が広がったのは、比較的安定して生物分解され、ノニルフェノールやオクチフェノールになるからです。これらの反応はAPEOsを含む生産物が分解する間に

(特に、汚水処理の間に)生じるといわれていま  
す。

一方、ノニルフェノールについては海洋、淡  
水のどちらの生物種にも毒性を示すことが既に  
明らかとなっており、例えば、雄のマスにエス  
トロジェン反応を呈したり、淡水生物における  
生物濃縮がみられるようになることが報告され  
ています。これらに関わる環境への影響を少な  
くするため、ドイツ、スイス及び他のヨーロッ  
パ諸国では製品を洗うときのノニルフェノール  
の使用を禁止することが定められ、英国におい  
ても、各家庭において自発的な使用の禁止が行  
われるようになってきました。

欧州調査委員会では、家庭及び工場における  
洗浄について、メンバーである各国が、二、〇  
〇〇年までにノニルフェノールの使用を段階的  
に削減していくことの了解を得ている。ノニル  
フェノールの多量の消費と毒性が高いことにも  
かわかわらず、英国においては、水環境中のアル  
キルフェノール類に関するデータがほとんどな  
いのが現状であったため、英国の河川や河口部

において、水環境中の濃度の実態把握及び下水  
放流水の影響を調べるために、マスを流水中の  
鋼製のカゴの中に閉じこめて、長期間生息させ  
ることによって、どのように魚の生態に変化を  
及ぼすのかを野外調査で調べたのです。

調査は、英国及びウェールズの六河川におい  
て実施され、アルキルフェノールの分布を示す  
ために上流から河口へ向かって、各河川とも、  
五〜六地点でサンプリングが行われた。(図・



Fig. 2. Map of sampling sites. Rivers: 1. Aire; 2. Great Ouse; 3. Lea; 4. Arun. Estuaries: 7. Blyth; 8. Tyne; 9. Wear; 10. Tees; 11. Southampton Water; 12. Poole Harbour; 13. Mersey.

図・一 河川サンプリング地点図

表・三 ノニルフェノール測定結果

Table 3. Concentrations of nonylphenol in rivers in England and Wales

River	Site	Approximate distance from source (km)	Dissolved nonylphenol ( $\mu\text{g/l}$ )	Total extractable nonylphenol ( $\mu\text{g/l}$ )
Aire	Kildwick Bridge	23	<1.6	<1.6
	Keighley	30	25	130
	Bingley	35	25	180
	Nab Wood	40	53	82
	Newlay Bridge	45	31	120
	A642 Bridge	62	24	140
Thames	Newbridge	40	<1.3	0.8
	Cookham	150	0.7	<1.3
	Staines	180	<1.3	<1.3
	Syon House	205	<1.3	2.3
	Battersea	215	0.6	2.2
Lea	Luton	3	0.5	1.0
	nr Harpenden	15	1.1	<0.9
	Essexden	55	1.6	1.3
	Dobbs Weir	67	0.2	0.5
	Lower Hall	85	0.6	0.7
	Leyton (E. London)	92	9.0	12
Wye	Pant Mawr	5	<0.5	<1.2
	Builth Wells	45	<0.4	0.2
	nr Hay on Wye	75	<0.2	<1.2
	Holme Lacy	105	0.9	<2.7
	Kearne Bridge	125	0.4	<1.3
	Llandogo	145	<0.4	<0.4
Ouse	4	<1.0	<1.0	
	Stane	50	<1.9	0.6
	Olney	85	<0.9	<0.9
	Great Barford	100	0.9	1.1
	Olford	140	<0.5	1.6
	Ely	180	1.3	5.3

一)  
調査結果(表・三)を要約しますと、ほとんどの河川では非常に低濃度のノニルフェノールしか観測されずに、特に、河口部では、海水によ

る希釈効果を受けるため、下流側ほど濃度は低下する傾向にありました。しかし、エアー川という河川のヨークシャーの織物工場地区からの汚水を受け入れている下水処理場からの放流口付近においてかなり高濃度のノニルフェノールが観測されました。この原因として、同河川の流域内では羊毛を中心とする繊維工業が盛んであり、多量に使用された界面活性剤APEOSが、汚水処理の過程で生分解され淡水、海洋の生物に毒性を示すノニルフェノールを生成していたことが調査により明らかになったのです。デイスカッションでは、我々に経験のない、河川のノニルフェノールの実態報告と魚類調査に関する詳細な実験方法について紹介して頂いた。

また、魚類の雌化に関するバイオアッセイ試験では、これまで河川の順流域を対象に流下方向に生息するローチについて生態試験を実施されてきましたが、現在では、河口部、沿岸域に生息しているフラウンダー(ひらめ的一种)について調査を実施しているそうです。フラウンダー

ーは、普段、海洋に生息していますが、産卵期には河口部まで遡上し卵を産みます。調査結果によると、水環境中の環境ホルモン濃度が小さい沿岸域の海底に生息するフラウンダーの方が、河口部に生息する魚に比べて女性ホルモンの指標であるビテロゲン濃度が高くなっていることから、環境ホルモン物質の影響が産卵期（河口部で産卵）に大きく作用しているのではないかと指摘されてきました。

C E F A Sでは魚類の雌化に下水処理放流水の影響を指摘しているものの、下水道従事者ではないので、下水流入水や処理プロセス内の濃度変化については調査を行っていないようでした。しかし、ノニルフェノールに関しては通常の活性汚泥に比べて消化汚泥では三〜五倍濃度が上昇することがわかっているため、消化汚泥の海洋投棄の早期禁止を実現しようとしていることを述べられていました。

#### 四 E A (Environment Agency, UK)

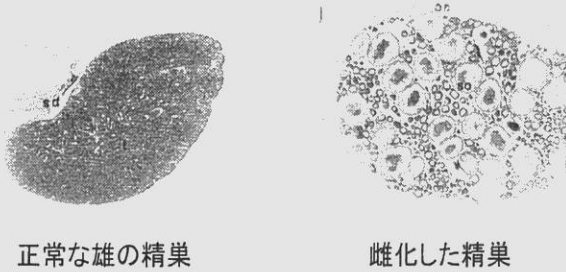
E A（環境省）は約八、五〇〇人の職員を有し、環境保護政策の立案とマネージメントを行っています。日本と異なる点として、浸水防除、水資源管理も環境省で行っている。環境ホルモン問題に関しては、内分泌に影響を与える物質が広範囲に亘り増加している事実を確認しているが、内分泌に影響を与えそうな多くの物質について、その存在を確認するためのモニタリング、監視する方法がなく、現在の環境ホルモン物質の制御が困難な状況とおっしゃっていられた。また、環境ホルモンの影響については、科学的な根拠が明らかでなく、リスクアセスメントに関する研究が立ち後れしているのが現状であるとおっしゃっていました。

環境省の対応としては、法規制の強化、対策の実用化へ向けた取り組みについて検討しており、環境省、独自の行動として、R & D (Research Development) 研究により、大学や研究機関とともに環境ホルモン物質に関する研究を行います。

環境ホルモン問題を広く国民に認識させるため、一九九八年一月に環境ホルモン物質に関するコンサルティングレポートを配布し、意見収集を行っている。年内の諮問期間を経て環境ホルモンに関する戦略を一九九八年末に仕上げる予定になっている。

環境省においても、魚の雌化に関する議論が多く、数々のR&Dの事例を交えて環境ホルモン問題の現状を報告して頂きました。

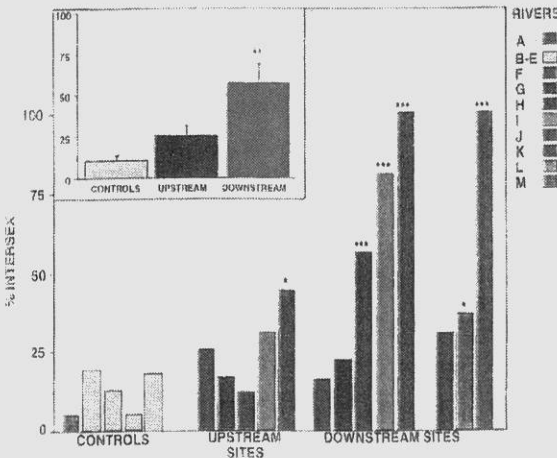
図・二は正常なローチと



正常な雄の精巣

雌化した精巣

図・二 ローチの精巣頭顕微鏡写真



図・三 河川上下流地点と間性状態の関係

雌化したローチの精巣の顕微鏡写真です。正常なローチでは、輸精管(s.d)と精巣生殖細胞(t)を持っています。一方、完全に雌化したローチでは、輸精管、精巣生殖細胞は見あたらず、卵母細胞(s.o)が形成されています。ここでは、比較対象として、完全に雌化された細胞の写真



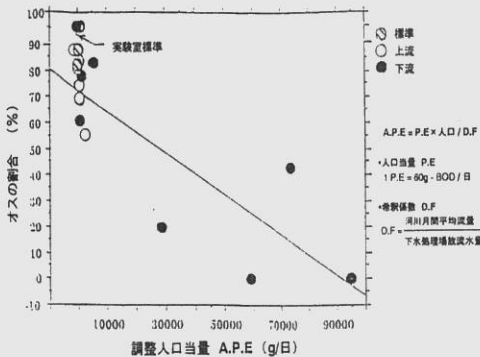
を示していますが、間性化、雌化が進行するにつれて卵母細胞の割合が高くなっていくので、この方法を用いて魚類の雌化の進行度を調べています。

図・三は、ローチの生息場所によって、雌化や間性状態がどのようになっていくかを調べた結果です。調査は十三箇所（所）の河川において実施され、環境ホルモンの影響を受けていないと考えられる河川を基準河川として、

調査各河川の上流地点、下流地点の二地点で実施されました。

この図から分かりますように、全体的な傾向として、下流側に生息しているローチほど間性化指数の高くなっていることがご理解いただけると思います。

下水処理放流水と間性状態の因果関係について検討したのが図・四です。また、表・四には採水地点の特性を示しています。図・四より、人口排出負荷量が



図・四 英国河川における間性状態と下水放流水との因果関係の評価

大きく下流域ほど、雄の魚の割合が少なくなり、間性化指数が高くなっていくことが伺えます。

これらの結果は、河川中の下水放流水濃度である間性状態を引き起こす主要な原因因子であることを示唆しています。間性度と血漿ピテロゲニン濃度との関連が示唆するように、これら二種類の生物学的作用は共通の原因によるものであり、下水放流水の疑似エストロゲン成分が野生魚個体群に間性状態を引き起こす原因と考えられています。特に、下水処理場では汚水を収集することから、人間から排出される女性ホルモン物質（17βエストラジオール等）が集約される機能を有しているため、このことが雌化に大きな影響を与えていると思われまます。また、英国では、日本と異なり、避妊薬の低量ピルの使用が認可さ

表・四 採取地点の特性

河川	名称	現場の特性	人口当量	希釈係数	放流水質
River	Name	Type of site	Population Equivalent (g/日)	Dilution Factor (-)	Effluent Concentration (g/日)
F	WREAKE/EYE	上流	429	1,666	1
		下流	51,950	8.6	6,037
G	OUSE	上流	5,000	3,125	2
		下流	198,546	69.9	2,829
H	LEA	上流	N/A	N/A	N/A
		下流	130,393	8	73,320
I	ARUN	上流	1,732	55.6	31
		下流	107,250	3.8	28,636
J	NENE	上流	22,143	9.8	2,270
		下流	285,174	4.8	58,891
K	TRENT	下流	982	3,333	1
L	REA	下流	2,000	17.1	117
M	AIRE	下流	674,717	7.1	94,939

\* 他の「下流側」地点と異なり、この地点は単一の主要点源というよりは多くの拡散源からの放流水の影響を受けているかもしれない。

各採取地点はそのすぐ上流側の下水処理場の特性に関連付けて説明する。人口当量 (P.E.) は処理場流入水の「強度」の尺度として説明できる。I.P.E.は生物化学的酸素要求量 (BOD5) が 60g 酸素/日の有機物生分解負荷量である。数年にわたる (できるだけ、採取魚の寿命を網羅する期間とする) 河川の放流水希釈係数を推定するため、実下水流量と月間河川流量についての流量測定値を使って採取地点での河川の放流水希釈係数平均値をもとめた。これら変数 (希釈係数又は PE) のいずれかだけを使用しても特定地点での放流水濃度を十分説明することはできない。例えば、大型下水処理場からの放流水が高濃度であっても、河川の希釈能力が高ければほとんど影響を与えない。逆に、人口当量が小さい下水処理場であっても希釈係数が小さければ影響が大きくなる。従って、各地点での放流水絶対濃度は河川での放流水希釈の度合いを考慮して人口当量を調整することで概算することができる。この比較を行うため、STW での処理が等価であると想定した。これら数値を調整人口当量 (整数に四捨五入) として欄6に示してある。

れており、このことが水環境中の女性ホルモンの高濃度化に影響していると云われている

る。我が国でも、ピル使用の解禁が間近に迫っています。環境ホルモン問題の面から今一度、その使用に当たっては再考が必要と考えられます。

要と考えられます。

環境省における今後の対応を整理すると次のとおりである。

- ・ 産業界との調整及び指導
- ・ 環境基準の設定
- ・ 国民・水会社への問題意識の浸透
- ・ データの蓄積・アセスメント手法の確立
- ・ 生態系への影響評価

国民の環境ホルモンに対する関心については、これらの一部の研究機関の人たちを除いて、現在のところあまり高く無いようである。また、民営化されている水会社においても、環境ホ

ルモン対策については、ほとんど着手していないのが現状であった。

## 五、おわりに

本日は、英国における環境ホルモン対策への取り組みについて調査した結果の一部を報告させて頂きました。

環境ホルモン問題の最も恐ろしいところは、我々が何気なく普段どおりに営んでいる生活の中で、知らず知らずの内に、極めて低濃度の化学物質が生物の生息状態を混乱させ、生態系や我々の生活に多大な影響を与えるところにあると思います。今回、ローチという魚の雌化について報告しましたが、幸い、この魚は食用ではありません。しかしながら、環境ホルモンに犯された生物を、より高次な動物が摂取することによって、ホルモン物質は一段と濃縮され、やがて、人間の口の中に入ってくるかもしれません。これは、まさに「沈黙の春」と同じ構造の問題であり、環境ホルモン物質のスクリーニングをいち早く実施し、危険化学物質の使用を禁

止するなどの発生源からの対策が早急に必要だと思います。

また、従来の下水道で扱ってきたのはミリグラムの世界ですが、環境ホルモン物質を対象にした場合は、ナノグラム、ピコグラムの世界であり、下水道の分野において、安全な処理技術を開発することはとても困難で長時間を要することだと思えます。過去の下水文化研究会において、下水道とどのようにしてつき合っていけば良いか・下水道の正しい使い方などについて、パンフレットにまとめられていた記憶があります。先程も述べましたように、環境ホルモン問題は下水道の技術力を持つてのみで解決できる問題ではありません。界面活性剤やピルの使用禁止など、我々が生活を営んでいく中で、環境ホルモン問題を未然に防ぐことは可能であり、このことが唯一の解決方法かもしれません。下水道をどのようにしてつき合っていけば良いのか・下水道の正しい使い方といったことを、今、まさに住民に考えていただくべきだと思います。