

環境ホルモン物質の河道内貯留の実態

THE ENDOCRINE DISRUPTING CHEMICALS STORED IN THE SURFACE LAYER OF RIVER CHANNEL

関根正人¹・大内良二²

Masato SEKINE and Ryoji OOUCHI

1 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1)

2 学生会員 早稲田大学大学院理工学研究科 (同上)

The problem of endocrine disrupting chemicals in river water came to be focused on in recent years, and there were several field measurements of water itself. But the information about the chemicals storing in the sediment which constitutes a river channel has not been investigated. The objective of this research is to understand where and how the endocrine disrupting chemicals are stored on and under the ground surface of river channel. The scenario about the chemicals storing was discussed on the basis of the result of numerical experiment by Sekine et al (2005). Field investigation in Tama-river was conducted to verify the validity of this scenario.

Key Words: endocrine disrupting chemicals, field measurement, deposition of silt, channel evolution.

1. 序論

近年、内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン物質）に関わる問題が顕在化するに伴い、この物質が生態系に及ぼす影響を危惧する声が高まっている。こうした中、国土交通省や環境省、各都道府県により全国の多くの河川で環境ホルモンに関する調査が実施されてきた。しかし、平水時に冠水することのない場所に存在する河道構成材料に関して、これに吸着している環境ホルモン物質を調査した例はほとんどない。そのため、河道内のどのような場所にどの程度の環境ホルモン物質が存在するかといった知見は十分に得られていないのが現状である。

ところで、よりよい河川環境を実現するためには、河道内に放出される環境ホルモン物質の量を低減させることとあわせて、この物質が多量に存在する河道内の区域を特定し、平水時にこれらを除去してしまうことが望ましい。そこで、著者らは、これまでに進めてきた河道変動に関する土砂水理学的研究を踏まえて、環境ホルモン物質が河道内に供給されてから、その後貯留に至るまでの一連のシナリオについて検討した。さらに、このシナリオの実証を目指して、「環境ホルモン物質が河道内のある特定の区域に偏って貯留される実態」の解明に努めた。具体的に

は、平成17年2月に多摩川で現地調査を実施し、採取した土壌サンプルを定量分析することで、環境ホルモン物質が河道内に貯留される実態を明らかにしており、シナリオが概ね妥当なものであることを検証した。

2. 環境ホルモン物質とこれに関わる知見

1996年3月、Theo Colbornらによる著書「Our Stolen Future」が（国内では1997年10月に邦訳「奪われし未来」として）刊行され、これを契機に環境ホルモン物質に関わる問題が大きく取り扱われるようになった。わが国でも1990年代後半からダイオキシンによる環境汚染問題をはじめ、環境ホルモン物質に関わる問題がメディアで大きく取り上げられ、同物質に対する国民の関心がにわかに高まった。この流れを受け、1998年5月、環境庁は「環境ホルモン戦略計画 SPEED'98」¹⁾を発表し、その中で内分泌攪乱作用を有すると疑われる化学物質として67物質を挙げた（2000年11月版において65物質に訂正）。その後の調査から、現在までに4-tert-オクチルフェノール、ノニルフェノール、ビスフェノールA、op-DDTについて、弱いながらも内分泌攪乱作用を有することが認められた²⁾。また、これ以外の化学物質の多くにはこの作用が認められ

ないことも明らかになっている。

現在、内分泌攪乱作用の認められた上記の物質を対象に、全国の主要河川における環境ホルモンの実態調査が環境省・国土交通省等によって行われてきている。これらの調査の結果、全国の多くの河川で上記のような環境ホルモン物質が低濃度ながらも検出されることがわかっている。ただし、底質調査に関しては、流心付近の底質を中心に行われており、平水時に冠水することのない河道構成材料を調査した例はほとんどない。

河川水中の懸濁態に含まれる環境ホルモン物質に関する知見としては、以下のようなものが挙げられる。磯部・高田ら³⁾は、多摩川および隅田川の河川水中に存在するノニルフェノールのうち、約5%～60%（全体平均で約20%強）が懸濁態として存在していたことを報告している。また、田中ら⁴⁾の実験から、特定の粘土鉱物に対するノニルフェノールの吸着が確認されている。著者らは最近、シルトに相当する粒径をもつ材料に対するノニルフェノールの吸着実験を進めており、現在までに、このようなシルトにも相当量のノニルフェノールが吸着することを確認している。これについては改めて報告する予定である。これらの知見から、出水時に、河道内に流入した環境ホルモン物質の一部が水中に浮遊状態で存在する微細土砂に吸着し輸送されている可能性がある。

3. シナリオの概要

まず、環境ホルモン物質が河道内に貯留されるシナリオの概要を説明する。

環境ホルモン物質の河道内への流入パターンとしては、(i) 下水処理場からの放流水とともに流入する、(ii) 降雨時に雨水に混入して流入する、といった二通りのパターンが想定される。そして、河道内に流入した環境ホルモン物質のその後の輸送経路としては、(i) そのままの状態に輸送され、海域まで運び去られる、(ii) 洪水期間中、河川水中に浮遊状態で輸送される微細土砂の表面に吸着し、この微細土砂とともに輸送される、という二つの可能性が考えられる。本研究では、これまであまり検討されてこなかった後者の可能性、すなわち、環境ホルモン物質が微細土砂に吸着した形でどのように輸送され、河道内に貯留されることがあり得るかに注目して検討を行うことにした。

ところで、上記のように環境ホルモン物質の一部が微細土砂に吸着した状態で輸送されるとするならば、その微細土砂が堆積を起し易い場所ほど環境ホルモン物質の存在する可能性が高いことになる。そこで、本研究では、河道変動に関する著者らのこれまでの研究成果⁵⁾を踏まえて、このような微細土砂が河道内のどのような場所に堆積しているかについて検討することとした。関根・矢島ら⁵⁾によれば、以下のような知見が得られている。(a) 植生が群落状に繁茂している区域では、流速の低下とシルト

などの微細土砂の捕捉とが同時に引き起こされ、結果としてテラス状の地形が形成されることがある。また、これらの傾向は植生群落の配置や河道の形状には依らない。(b) 植生群落内の河道表面では、相対的に微細土砂の含有率が高い。(c) これは、植生群落内では浮遊土砂を運び込むことはあっても、これを再浮上させるほどの掃流力がないためである。以上のような知見から、微細土砂が顕著に堆積する植生群落の根元付近には、より多くの環境ホルモン物質が堆積しているものと推察される。

以上をまとめてシナリオの概略を示す。

- (1) 下水処理場からの放流水あるいは雨水とともに供給された環境ホルモン物質の一部が、洪水期間中に浮遊状態で存在する微細土砂に吸着し、そのままの状態に輸送される。
- (2) その微細土砂の一部は、植生群落により捕捉され、特に水際付近において堆積する。
- (3) 植生群落内では微細土砂を再浮上させる程の掃流力がなく、再浸食が生じ難いため、結果としてこれらの微細土砂がその場に貯留されることになる。

なお、上記の(1)に関して、過去の出水により既に環境ホルモン物質の吸着した微細土砂が河道上に存在している場合には、これが洪水時に巻き上げられることで再び水中に戻されることもある。

このシナリオの是非に関しては、現地河川において確認する他に術がないことから、本研究では次に説明するような現地調査を行うこととした。

4. 河道内貯留に関する現地調査

(1) 現地調査の概要

調査は河口から28.0km付近に架かる多摩川原橋上流の礫床区間において実施され、低水路右岸水際付近からその背後に広がる砂州地形上において河道を構成する微細土砂（主としてシルト）を採取し、これに吸着している環境ホルモン物質の定量分析を行った。主たるサンプルの採取は図-1に示した4測線上で行われた。参考までに、測線2に沿う横断面内の地形形状を図-2に示す。この砂州地形に関して注目すべきことは、そこに植生（ほとんどが草本類）がかなり密に繁茂し、その根元付近に大量の微細土砂が堆積していたことである。そこで、このような微細土砂をサンプルとして採取し分析に供することとした。なお、ここでの調査は水位が比較的低い平成17年2月に行われており、その前年の出水時に生じた河道攪乱以降、次の出水までの比較的最長い期間にわたって、ここで明らかになった状態が維持されていることになる。

採取するサンプルは、原則として、河道表層を2cm程度取り除いた後、その表面を基準に深さ10cm程度にわたって土砂を掘り出し採取した。なお、本調査では採取点番号1-3、2-2、2-3の三点において、上記のようなサンプルを採取した後、更にその下方の深さ20cm～30cmに当た

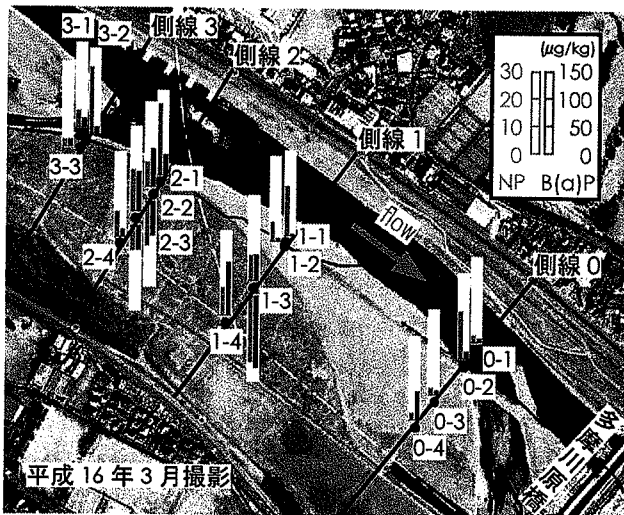


図-1 環境ホルモン物質の貯留実態

NP：ノニルフェノール，B(a)P：ベンゾ(a)ピレン

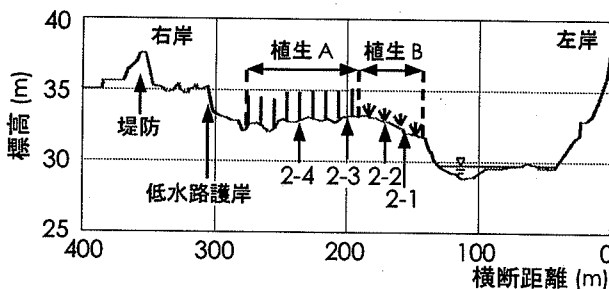


図-2 側線 2 における横断面形状

る土砂についても併せて採取している。

(2) 調査対象物質

本調査では、ビスフェノール A、ノニルフェノール、およびベンゾ(a)ピレン（以下、それぞれ BPA、NP、B(a)P と略す）の三物質を対象とした。BPA および NP は、前述の通り、弱いながらも内分泌攪乱作用が既に認められている物質である。一方、B(a)P は、現在までのところこの作用の有無については明らかではないものの、強い発がん性を有するとされる物質である。なお、参考までに、環境省⁶⁾は NP(水質)の魚類に対する最大無作用濃度 (NOEC) を $6.08 \mu\text{g/l}$ と定めているが、著者らが別途行った水質調査（平水時に実施）によれば、この対象区間を流れる河川水中の NP 濃度は $0.1 \mu\text{g/l}$ 程度であり、この指標を大幅に下回るものであった。

(3) 調査結果

表-1 に調査結果の一覧を示した。ただし、各々の採取点の状況がそれぞれ異なるため、写真-1(a)～(f) に典型的な 6 つのパターンを示し、各採取点がそれぞれのパターンに分類されるかを表-1 中の「採取点の特徴」の欄に記載してある。また、参考として国土交通省による底質の調査結果⁷⁾を表-2 に示した。ただし、このデータは著者らの調査とは異なる環境で得られたものであり、本調査結果とは単純に比較できないということに注意を要す

表-1 対象物質の検出量

採取点	採取点の特徴	対象物質の検出量 ($\mu\text{g/kg}$)		
		BPA	NP	B(a)P
0-1	礫間のシルト	1	5 未満	7
0-2	礫間のシルト	3	17	51
0-3	植生なし	1 未満	5 未満	7
0-4	植生なし	1 未満	5 未満	13
1-1	植生 C (水中)	2	18	6
1-2	植生 C	1 未満	7	3
1-3 (上)	植生 A	1	9	46
1-3 (下)	植生 A	1 未満	24	130
1-4	植生 A	2	10	97
2-1	植生 B	1 未満	26	37
2-2 (上)	植生 B	1 未満	9	69
2-2 (下)	植生 B	1 未満	16	62
2-3 (上)	植生 A	1 未満	15	71
2-3 (下)	植生 A	1 未満	9	44
2-4	植生 A	2	9	14
3-1	植生 C	1	6	16
3-2	礫間のシルト	1	24	11
3-3	植生 B	1 未満	5 未満	12
定量下限値		1	5	1

表-2 国土交通省による底質の調査結果

採取場所	採取時期	対象物質の検出量 ($\mu\text{g/kg}$)		
		BPA	NP	B(a)P
多摩川原橋	平成 11 年春	0.5	4.1	—
多摩川原橋	平成 12 年秋	0.8	7	27
多摩川原橋	平成 13 年	0.6	3 未満	3.4
定量下限値		0.2	3	1

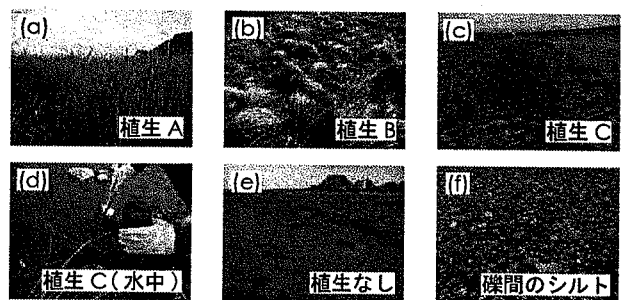


写真-1 (a)～(f) 採取点の特徴

る。図-1 には各採取点における対象物質の検出量を棒グラフで示した。ただし、定量下限値未満のものについては、その定量下限値の半分の値で示している。

5. 調査結果についての考察

(1) シナリオの検証

ここでは、調査対象とした三物質のうち、特に顕著な値ならびに分布状況の偏りを示した NP と B(a)P の調査結果について考察する。

まず、両物質の河道内への流入過程および前述したシナリオの検証方法についての考え方を説明する。

NP は下水処理場からの放流水に含まれる物質であり、放流水とともに河道内に供給される。従って、ある程度の冠水頻度で水に浸かっている、しかも微細土砂の堆積が生じやすいところほど NP が検出され易いと予想される。

B(a)P は主として幹線道路周辺の大气中ならびに道路面上等に存在する物質とされる。そのため、降雨時には雨水とともに河道内地形上に直接供給されるほか、道路



図-3 対象区間における流況の経年変化：平成 11 年 3 月（上）、平成 13 年 10 月（中）、平成 16 年 3 月（下）

上に降り注いだ雨が側溝・下水道等を経て河道へと供給されることになる。従って、B(a)P に関しては前述のシナリオに加えて雨水等による供給も考慮する必要がある。

図-1 に示した結果から、植生群落内にはシルトが大量に堆積していること、ならびにこのような植生群落内で、両物質共に相当高い検出値を示していることがわかる。また、表-2 に示した底質の調査結果と比較しても、植生群落内での検出値はかなり高いといえる。これはシナリオとして説明した通りの結果といえる。ただし、河道内の微地形の違いに応じて NP と B(a)P の検出値の分布が異なっているが、これについては次のように解釈している。

NP に関しては低水路水際付近の植生群落内において高い値を示しており、シナリオに沿う良好な結果となっている。一方、B(a)P に関しては、そもそも水流によって運ばれて来るといよりは、雨水によって河川地形上に供給されたものが表層土砂に吸着し、その土砂の浸食・輸送を通じて再分配されるというプロセスをとる。そのため、むしろ砂州地形の標高の高い植生群落内に残留する結果となっている。いずれにしても、著者らが描いたシナリオに沿った形で、河道内の一部区域に環境ホルモン物質が貯留されていることが確認された。

(2) 植生群落の変遷による影響

図-3 に対象区間における流況の経年変化を示した。平成 13 年 9 月の大規模な出水により、採取点 3-3、1-2、1-3 を通るラインを境として植生群落が破壊されていることがわかる。このことは、この付近の地表が大きく浸食されたことを表しており、この地点から多量の環境ホルモン物質を含む微細土砂が運び去られる結果となった。一方、採取点 1-3、2-2、2-3 では植生群落の消失は少なく、かつ上層・下層とも高い濃度を示している。これは、このような植生群落内に環境ホルモン物質がかなり長期に渡って貯留されていることを示すものである。

6. 結論

本研究によって、環境ホルモン物質の河道内貯留に関する実態が明らかになり、その実態は著者らが描いたシナリオに沿うものであった。また、標高がある程度高く冠水頻度のあまり高くない場所に繁茂する植生群落内では、環境ホルモン物質が比較的長期に渡って貯留されていることが確認された。

謝辞：本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成「環境ホルモンの無害化と暴露量削減に関する研究開発」を受けて行ったものである。本論文のとりまとめに当たり、国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所より航空写真ならびに測量データの提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境庁：内分泌攪乱化学物質問題への環境庁の対応方針について—環境ホルモン戦略計画 SPEED'98—（2000 年 11 月版），<http://www.env.go.jp/chemi/end/endindex.html>.
- 2) 環境省：化学物質の内分泌かく乱作用に関する環境省の今後の対応方針について—ExTEND2005—，<http://www.env.go.jp/chemi/end/extend2005/>.
- 3) 磯部友彦，高田秀重：水環境中におけるノニルフェノールの挙動と環境影響，水環境学会誌，第 21 巻 第 4 号，203-208，1998.
- 4) 田中ら：外因性内分泌攪乱物質ノニルフェノールの水環境下の挙動の解明，東京大学原子力研究総合センター共用設備管理部年報（29），124-127，2001，http://www.rcnst.u-tokyo.ac.jp/kyosetu/report/H13/01_A_R.pdf.
- 5) 関根正人，矢島英明：礫・シルト充填河床モデルを用いた河道の変動解析，水工学論文集，第 49 巻，991-996，2005.
- 6) 環境省：ノニルフェノールが魚類に与える内分泌攪乱作用の試験結果に関する報告（案），2001，<http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1301/>.
- 7) 国土交通省：平成 13 年度水環境における内分泌攪乱物質に関する実態調査結果について，2002，http://www.mlit.go.jp/river/press/200207_12/021212/021212.html.

（2006. 4. 6 受付）