

アロマティックス誌 2001年(第53巻)秋季号掲載
環境ホルモン問題は、何が問題か(その9)
女性ホルモン様物質の魚類への影響

西川洋三

1、はじめに

環境ホルモン問題の中で、私がかつとも関心をもっているのは河川の魚のメス化である。メス化の主たる原因物質は尿由来の女性ホルモンである可能性が高いにもかかわらず、ノニルフェノールなどの合成化学物質が疑われていたからだ。女性ホルモン様物質の水生生物への影響については、3年前にも「環境ホルモン問題は、何が問題か(その3)」¹⁾で検討している。

その後、次のような調査、研究が行われてきた。

- ・多摩川水系および全国の河川でのコイについての調査。メスにしか現れないはずのビテロゲニン(卵黄タンパクの前駆物質)がオスのコイにも検出されるか、精巢に異常がないかなどの調査。
 - ・多摩川および下水処理場放流水での女性ホルモン様作用の強さ、また、各種女性ホルモン様物質の寄与率。
 - ・女性ホルモン様物質の魚に対する毒性試験
 - ・全国の河川での化学物質の濃度測定
- 本稿では、これらの結果を紹介するとともに私の解釈を説明した。

2、多摩川のコイのメス化

2.1 メス化問題の発端

この問題の発端となったのは、井口(当時横浜市立大)らの調査であった。これをメディアが「多摩川のコイはメス化されている」と繰り返し報道し、不安を煽った。この調査の正式な報告は次のとおりである²⁾。

東京都府中市にある北多摩1号下水処理場から多摩川本流に流れ込むまでの間の下水処理水に生息するコイを調査した。1997年7月から1998年3月まで5回捕獲した。メス66尾、オス38尾、雌雄同体が1尾で、メスの比率が著しく高かった。オス37尾中21尾にビテロゲニン(VTG)が検出された。また、オスの30%で精巢が著しく小さい、精子形成量が少ないなどの異常がみられた。なお、対照群として、上田市中央水産研究所で飼育しているコイを1997年9月から1998年3月まで計4回同様に調べた。下水処理水中のノニルフェノールの濃度は低いですが、ビスフェノールAやフタル酸エステルも検出される。これら環境ホルモンの相加作用が原因とも考えられる。

以下は私の注釈である。

- ・多摩川に生息するコイと報道されたが、下水処理場放流水に棲むコイである。
 - ・尿由来の女性ホルモンが原因である可能性のあることについては触れていない。
 - ・対照群の結果を記載していないのは、対照群の方がVTG濃度は高かったからだろう。
- (4、養殖魚のメス化の項を参照のこと)

2.2 多摩川での女性ホルモン様作用

和波、嶋津（東京都環境科学研究所）らは、井口らの調査を受けて、多摩川水系 4 ヶ所と神田川水道橋の計 5 ヶ所で調査を行っている。その結果の一部を紹介する³⁾。

多摩川水系 4 地点の合計でコイ 433 尾を採取した。メス 204 尾、オス 229 尾で、性比はほぼ 1 : 1 であった。

多摩川原橋と神田川水道橋で、オスのコイに高い VTG が検出される比率が高かった。血清中 VTG 濃度が 1 $\mu\text{g/mL}$ を超える尾数の割合は、多摩川原橋 46%、神田川の水道橋 24% であった。これに対して多摩川でも水質の比較的良好な拝島橋では 10% であった。

多摩川原橋と神田川水道橋でみられた高濃度の VTG は、河川水の女性ホルモン様作用の強さを反映している。調査地点での作用の強さをエストラジオール (E2) に換算して表

1 に示す。多摩川原橋で 7 ng/mL 、水道橋で 7.2 ng/mL であった。この 2 地点の上流にある大規模な下水処理場の影響と考えられる。多摩川原橋は、多摩川流域で最も放流量が多い北多摩一号処理場の下流約 1.5 km に位置している。下水処理水の占める割合は 40% ~ 70% である^{3,4)}。神田川水道橋は流量の 80% が上流の落合処理場の処理水によって占められている。これに対して、拝島橋の上流に下水処理場はない。

表 1 女性ホルモン様作用強度 (2000 年 2 月採水)

調査地点	E2 換算濃度 (ng/L)
多摩川拝島橋	0.2
北多摩 1 号処理場放流水	13.7
多摩川原橋	7.0
落合処理場放流水	6.6
神田川水道橋	7.2

また多摩川原橋での各種女性ホルモン様物質の E2 換算濃度を表 2 のように試算している⁵⁾。ここでの濃度は国土交通省が測定した 1998 年度と 1999 年度の 4 回の平均値である。また、女性ホルモン様作用の相対強度は遺伝子組み替え酵母法から求めている。これから E2 の寄与率が圧倒的に高いことがわかる。

表 2 多摩川原橋での女性ホルモン様物質の E2 換算濃度

物質名	濃度 ng/L	相対強度 (E2 = 1)	E2 換算濃度 ng/L
エストラジオール	9	1	8.7
ノニルフェノール	118	0.00018	0.02
オクチルフェノール	15	0.00001	0.0002
ビスフェノール A	30	0.00006	0.002

板澤（横浜国立大学）らも多摩川の 3 地点で同様の検討をしている⁶⁾。この結果では、ノニルフェノール、オクチルフェノール、ビスフェノール A の 3 つの物質合計の女性ホルモン様作用全体に占める割合は、女性ホルモン様作用の強い多摩川原橋で約 1%、その作用の弱い多摩大橋、田園調布堰で約 10% である。したがって、尿由来の女性ホルモンの

寄与を考える必要があるとしている。

2.3 下水処理場放流水での女性ホルモン様作用

下水処理場放流水中の女性ホルモン様作用に関して次の研究が報告されている。いずれの研究でも、尿由来の女性ホルモンの寄与率が高いことで一致している。

滝上（京都大学）らは、遺伝子組み替え酵母法を用いて女性ホルモン様作用の総量を測定し、またエストラジオール（E2）濃度を ELISA 法で測定することにより、下水処理場放流水の女性ホルモン様作用は、ほぼ E2 によると結論している⁷⁾。

この問題の火付け役であった井口らも、彼らの調査地点である北多摩一号処理場放流水について同様の検討し、次のとおり結論している。

魚類のオスに VTG を誘導する閾値（最低濃度）と比較すると、アルキルフェノールの濃度は閾値の 1/20 から 1/40 であるのに対し、エストロン（E1）及び E2 の濃度は約 1/2 以上であった⁸⁾。相加作用があると考えると女性ホルモン（E1 と E2）のみで VTG を誘導しうる。

また、濃度の測定結果と遺伝子組み替え酵母法での相対活性から寄与率を求めると、表 3 のとおりで、下水処理場放流水中の女性ホルモン様作用は 99% が尿由来の女性ホルモンとなる⁹⁾。

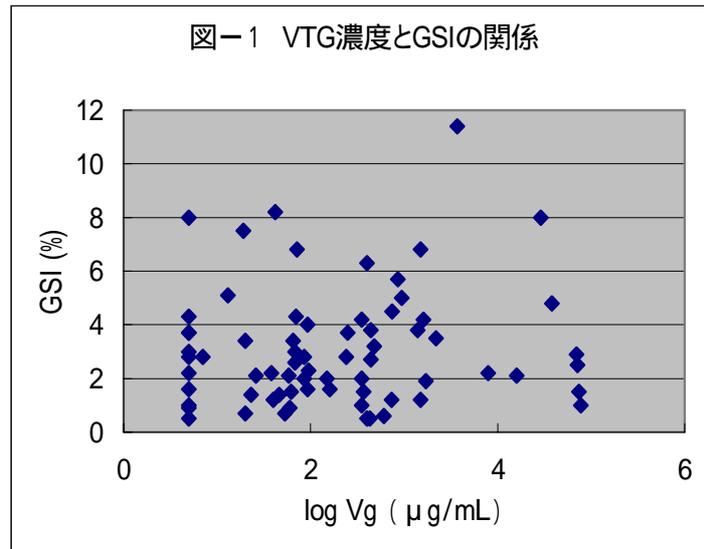
表 3 女性ホルモン様作用の寄与率

物質名	濃度 (ng/L)	寄与率 (%)
エストロン	20.8 ~ 43.7	67 ± 6
エストラジオール	2.25 ~ 7.80	32 ± 6
合成化学物質		< 1

2.4 コイの精巣への影響

和波らは精巣異常について、次のとおり報告している⁴⁾。肉眼観察の結果、コイの精巣の 9% に瘤状や萎縮などの異常が認められた。神田川水道橋で異常率が最も高く 13% で、多摩川原橋では 10% であった。精巣異常と VTG 濃度との間に相関はみられない。生殖腺体指数（= 精巣重量 / 体重 × 100）は、精巣の発達状況を量的に検討する指標である。精巣が萎縮した場合は生殖腺体指数（GSI）が小さくなる。図 1 は、和波らの調査結果から GSI と VTG 濃度の関係を私が図示したものである。GSI と VTG 濃度には相関は認められない。

このことは、VTG を誘導する原因と精巣異常の原因は別にあることを示している。女性ホルモン様物質は、VTG 誘導の原因であるとしても、精巣萎縮などの異常の原因ではないと私は考える。それでは何が原因であろうか。和波らは次のように考察している。神田川のコイは体重が重く、肥満度も高いことから、栄養過多や加齢の影響による精巣異常も考えられる。また、魚類の精巣の発達には、河川水質のほか、水温、個体群密度、餌などさまざまな環境要因によって支配されている。



和波らは別の研究で、下水処理場放流水は底生生物にも影響を与えていると報告している¹⁰⁾。排水量が多い下水処理場の直下流に位置する地点では底生動物の種類数は少ないという。影響要因としては下水処理場放流水による水温及び水質の変化が考えられる。下水処理場放流水の水温は河川水に比べて高い。冬期の多摩川の水温は5℃であるが、放流水の水温は17℃である。また、水質要因としては、アンモニア、有機物質、さまざまな化学物質が考えられる。下水処理の際に殺菌のために加えている塩素が悪影響を与えている可能性もあるとのことである。コイの精巣異常の原因は、底生動物の減少の原因と同じであろうと私は想像している。

なお、コイの採取は6, 7, 8, 9, 10, 2月に行っている。GSIは、夏期(6, 7, 8月)で低く、秋冬期(10, 2月)で高くなっている。秋冬期では夏期の約2倍の値である。一方、VTG濃度は季節による差は認められない。

3、一般河川でのコイのメス化

国土交通省^{11,12)}と環境省¹³⁾が、全国の河川のコイについてピテロゲニン(VTG)や生殖腺体指数(GSI)を測定している。どちらの調査でも、同じ地点で採取したオスのコイであってもVTG濃度が高いのもあれば低いのもあるし、GSIが小さいのも大きいのも観察されている。

国土交通省が平成11年夏期に行った調査結果をもとに解析する。この調査を選んだのは、調査対象尾数が最も多いことによる。全国の一級河川の26地点で、コイ(オス252尾、メス177尾)を採取するとともに、その地点の水中の女性ホルモン様物質濃度も測定している。調査は5月末から7月にかけて行っている。

調査地点毎に、オスのコイの尾数、そのうちVTG濃度が1 µg/mL以上検出した尾数、GSIが1%以下であった尾数、および、女性ホルモン様物質の代表としてエストラジオール(E2)とノニルフェノール(NP)の濃度を表4にまとめた。また、VTG濃度とGSIの関係を表5に示した。

表 4 オスのコイの GSI、VTG (建設省平成 11 年度調査)

調査地点	調査尾数	GSI 1 % 以下の尾数	VTG 1 μ g/ml 以上の 尾数	E2 濃度 μ g/L	NP 濃度 μ g/L
阿武隈川・須賀川	13	4	3	0.0006	<0.1
阿武隈川・阿武隈橋	12	7	2	0.0011	0.1
阿武隈川・伏黒	4	1	1	0.0025	0.1
阿武隈川・岩沼	10	0	1	0.0006	0.1
利根川・板東大橋	2	2	0	0.0003	<0.1
利根川・利根大堰	2	1	1	0.0016	<0.1
利根川・栗橋	7	1	0	0.0015	0.2
利根川・水郷大橋	11	5	1	0.0013	<0.1
綾瀬川・内匠橋	4	1	1	0.0043	2.3
荒川・久下橋	10	1	2	0.0006	<0.1
荒川・開平橋	8	2	2	0.0007	<0.1
荒川・治水橋	8	5	2	0.0009	0.2
多摩川・拝島橋	20	1	2	0.0004	<0.1
多摩川・多摩川原橋	9	0	3	0.0070	0.4
多摩川・田園調布堰	14	1	5	0.0030	0.2
荒川・旭橋	15	4	1	<0.0002	0.1
信濃川・立ヶ花橋	14	7	1	0.0004	<0.1
信濃川・旭橋	15	3	0	0.0003	<0.1
信濃川・平成大橋	7	0	0	0.0002	0.1
庄内川・大留橋	1	1	0	0.0024	<0.1
庄内川・枇杷島橋	10	0	0	0.0034	0.2
瀬田川・唐橋流心	12	0	0	0.0002	<0.1
淀川・合流点	13	5	0	0.0007	0.1
淀川・枚方大橋	6	4	1	0.0004	0.2
筑後川・三隅大橋	16	4	3	<0.0002	<0.1
筑後川・瀬の下	9	2	3	0.0007	<0.1
全国合計 (平均)	252	62 (25%)	35 (14%)		

表 5 オスのコイの VTG 濃度と GSI との関係

VTG 濃度 μ g/ml	調査尾数	GSI 1 % 以下の 尾数 (比率)
0.1 以下	176	52 (30%)
0.1 ~ 1.0	42	3 (7%)
1 ~ 10	25	8 (32%)
10 ~ 100	8	0 (0%)
> 100	1	0 (0%)

表 4 と表 5 から次のことがいえると思う。

- ・ほとんどの地点でオスのコイに VTG が検出される。VTG が 1 μ g/mL 血清以上の濃度で検出される比率は平均して 15% 程度である。
- ・ほとんどの地点で精巢が萎縮したコイが観察される。GSI が 1 % 以下の割合は平均して約 25% である。ただし、25% という値は他の調査にくらべて高い。調査時点が夏期

のためかもしれない。

- ・ VTG 濃度と GSI に関係は認められない。
- ・ 多摩川原橋などの 4 地点を除けば、E2 濃度は 0.003 $\mu\text{g/L}$ 未満である。0.003 $\mu\text{g/L}$ 未満では、他にエストロンなどの女性ホルモン作用をもつ物質があることを考慮しても、オスのコイに VTG を誘導するほどの作用はなさそうだ。
- ・ 調査尾数が少ないので確かなことはいえないが、E 2 濃度が 0.003 $\mu\text{g/L}$ 未満の地点では、VTG 濃度も GSI も E2 や NP の濃度と関係がありそうにない。

以上から私は次のように推測する。汚染度の低い河川でも、オスのコイに VTG 濃度が高いものがあること、GSI が低いものがあることは、化学物質による汚染が原因ではないことを示しているのではなからうか。どうして VTG が高いコイがいるのであろうか。同じ地点で採取したコイなのに、なぜ個体差があるのかを検討するのが、その回答を得る近道と考える。

4 養殖魚のメス化

我々の食べている養殖魚には女性ホルモン様作用の影響がでている。

養殖マダイ（4 歳以上）では、調査した 180 尾のうち、20%の個体で同一生殖腺内に精巣組織と卵巣組織の混在する雌雄同体魚が観察された。一方、養殖のコイでは、雌雄同体魚は観察されなかったが、オスでも VTG が検出された¹⁴⁾。

オスのウグイの VTG 濃度は、千曲川に生息するウグイでは 0.1 $\mu\text{g/mL}$ で、上田市にある中央水産研究所で千曲川の水を使って飼育しているウグイでは 100 $\mu\text{g/mL}$ であった。養殖コイはオスでも VTG 濃度は高い¹⁵⁾。（中央水研の報告には、口頭説明内容を含む。）

以下は私の注釈である。女性ホルモン様作用の原因物質として、餌に含まれる大豆粕、メスが排出する女性ホルモンが考えられる。

5 女性ホルモン様物質の魚毒性試験

5.1 魚毒性試験法

女性ホルモン様作用による魚類への影響を評価するための試験方法として、OECD は、確定試験としてライフサイクル試験、その前段階の試験として初期生活段階毒性試験と繁殖試験を考えている¹⁶⁾。化学物質評価研究機構では環境省の委託を受けて、これらの試験法の検証を兼ねて、メダカを用いた一連の試験を実施している。

メダカを用いた場合の試験方法の概略は次のとおりである¹⁷⁾。

イ) フルライフサイクル (FLC) 試験：受精卵から次世代が成熟するまで連続して約 6

ヶ月間、化学物質に暴露し、胚の孵化率と孵化日数、孵化後の生存率・成長・行動、性転換（二次性徴と生殖腺組織学的検査）、VTG 産生などを調べる。

ロ) パーシャルライフサイクル (PLC) 試験：FLC 試験のはじめの 60 日間分の試験である。初期生活段階試験を延長し、性比の確認をできるようにした試験ともいえる。

ハ) 繁殖試験：成熟したメダカを用いて 14～21 日間、化学物質に暴露し、産卵数、卵の受精率と孵化率、性転換、VTG 産生及び次世代への影響などを調べる。

5.2 魚毒性試験結果

6種類の女性ホルモン様物質について、化学物質評価研究機構が行った試験結果を表6にまとめた。6物質とは、エストラジオール(E2)^{16,18,19}、エチニルエストラジオール(EE)²⁰、ノニルフェノール(NP)^{21,22,23}、オクチルフェノール(OP)²²、ペンチルフェノール(PP)²⁴、ビスフェノールA(BPA)^{16,25,26,27}である。

表 6 女性ホルモン様物質の魚毒性試験結果 (単位は $\mu\text{g/L}$)

物質名	急性毒性 96hr LC50	パーシャルライフ サイクル試験	繁殖試験	ライフサイクル 試験
E2	> 2,000	LOAEC 0.1 NOAEC 0.01	LOEC 0.0293	LOAEC 0.01?
EE		LOAEC 0.0306 NOAEC 0.0101	LOEC 0.0639 NOEC 0.0326	LOAEC 0.0101 NOAEC 0.0034
NP		LOEC 11.6 NOEC 6.08	LOEC 50.9 NOEC 24.8	LOAEC 17.7 NOAEL 8.2
OP		LOEC 11.4 NOEC 6.94		
PP		LOEC 250 LOEC 125		LOAEC 250
BPA	13,000	LOAEC 1820 NOAEC 355	LOEC 837	NOAEC 355?

LOECは最小影響濃度、NOECは無影響濃度、LOAECは最小悪影響濃度、NOAECは無悪影響濃度を意味する。VTGや精巣卵が認められても生殖作用に影響がみられない場合は悪影響とはしなかった。

ポイントとなる試験結果について要点を説明しておく。

イ) エストラジオールの FLC 試験¹⁸⁾

- ・試験濃度 0.1, 1, 10, 100, 1000 ng/L
- ・100 ng/L以上ではオスが得られなかった。
- ・10 ng/L以下でも産卵数は曝露濃度の上昇と共に減少した。

ロ) ノニルフェノールの PLC 試験^{21,22)}

- ・試験濃度 3.30, 6.08, 11.6, 23.5, 44.7 $\mu\text{g/L}$
- ・23.5 $\mu\text{g/L}$ 以上でメスの比が高くなった。体重が有意に減少した。
- ・11.6 $\mu\text{g/L}$ 以上で20%に精巣卵が認められた。VTGが増加した。

ハ) ノニルフェノールの FLC 試験^{21,22)}

- ・試験濃度 4.2, 8.2, 17.7, 51.5 $\mu\text{g/L}$
- ・17.7 $\mu\text{g/L}$ 以上で死亡率が増加した。20%が精巣卵であった。受精率が低下した。
- ・8.2 $\mu\text{g/L}$ では影響がなかった。ただし、子の10%に精巣卵がみられた。
- ・LOAECは17.7 $\mu\text{g/L}$ 、NOAECは8.2 $\mu\text{g/L}$ であった。

ニ) オクチルフェノールの PLC 試験²²⁾

- ・48.1 $\mu\text{g/L}$ で二次性徴のメス化が認められた。
- ・11.4 $\mu\text{g/L}$ でVTG産生が有意に認められ、精巣卵が5%に出現した。

- ・ 6.94 $\mu\text{g/L}$ では影響がみられなかった。

ホ) ビスフェノールAの FLC 試験¹⁶⁾

- ・ 設定試験濃度 2.28, 13, 71.2, 355, 1820 $\mu\text{g/L}$
- ・ 1820 $\mu\text{g/L}$ ではオスが得られなかった。全長が有意に減少した。
- ・ 355 $\mu\text{g/L}$ 以下では産卵数以外に影響は見られなかった。累積産卵数が低下したが、バラツキが大きく有意ではなかった。

他の試験機関による試験結果として、次の報告がある。

ヘ) エストラジオールのメダカを用いた PLC 試験²⁸⁾。

- ・ 0.01 $\mu\text{g/L}$ で、すべてメスであった。

ト) エチニルエストラジオールの fathead minnow を用いた FLC 試験²⁹⁾。

- ・ LOAEC が 0.004 $\mu\text{g/L}$ で、NOAEC は 0.001 $\mu\text{g/L}$ であった。

チ) ビスフェノールAの fathead minnow を用いた FLC 試験³⁰⁾。

- ・ 成長抑制が 640 $\mu\text{g/L}$ 以上で認められた (71 日観察で)。
- ・ VTG は (43 日では) 640 $\mu\text{g/L}$ 、(71 日では) 160 $\mu\text{g/L}$ で増加した。
- ・ 産卵数は 1280 $\mu\text{g/L}$ で、孵化率は 640 $\mu\text{g/L}$ で低下した。
- ・ 16 $\mu\text{g/L}$ で精巣内の精細胞型の比率に影響があった。これは精子形成を抑えることを示唆している。
- ・ 結論として、640 $\mu\text{g/L}$ 以上で繁殖に影響が認められた。

5.3 考察

上記の一連の試験結果から次のことがいえよう。

- ・ VTG と精巣卵 (精巣に卵巣組織が混在する) が、最も感度のよい指標となる場合が多い。
- ・ PLC 試験の感度は高く、FLC 試験とほぼ同じ結果を与えることが多い。
- ・ エストラジオールについては NOAEC が明らかでない。0.01 $\mu\text{g/L}$ 近くでの濃度幅を小さくした FLC 試験が必要である。
- ・ 尿由来の女性ホルモンの一つであるエストロン (E1) についても試験する必要がある。下水処理場放流水中の濃度は E2 よりも高いことが多いから。文献では次の試験結果が報告されているが、十分でない。ニジマスに VTG を誘導する最低濃度は 0.025 ~ 0.050 $\mu\text{g/L}$ である³¹⁾。メダカを用いた試験では、1 $\mu\text{g/L}$ でほとんどがメスになる。0.01 $\mu\text{g/L}$ でもオスの 5% に精巣卵が認められた³²⁾。
- ・ メダカを用いた試験では、精巣卵は VTG とともに女性ホルモン様作用に対して、感度の高い指標となる。しかし、多摩川や神田川のコイには精巣卵が観察されることは極めてまれである。和波らの調査では、オス 69 尾中 1 尾に観察されたにすぎない³⁾。その 1 尾も VTG 濃度は低いので女性ホルモン様作用が原因ではない。

私は 3 年前に、生態毒性の閾値を表 7 のように推定した¹⁾。ここでいう閾値とは、毒性がでるかでないかの境界値を意味し、慢性毒性 (生殖毒性を含む) の MATC (LOEC と NOEC の幾何平均値) を採用している。

表 7 生態毒性の閾値

物質名	閾値 ($\mu\text{g/L}$)
E2	0.01
NP	10
OP	5
BPA	1000

表 6 と比較すると NP については全く正しく、他の物質についても概ね良い推定だったといえる。

慢性毒性の閾値と急性毒性値を比較することも重要である。私のような仕事をするものは、急性毒性から慢性毒性を推定する能力が必要だからだ。E2 と NP の比較を表 8 に示す。NP では急性毒性値の 1/50 が慢性毒性(生殖毒性を含む)の閾値になっている。また、NP では女性ホルモン様作用による毒性と一般毒性が同程度の濃度で現れる。一方、E2 は慢性毒性の閾値は急性毒性値の 20 万分の 1 以下である。これは女性ホルモン作用による毒性が、一般毒性にくらべて極端に強いことを示す。こういう物質のみを内分泌かく乱物質というべきである。急性毒性から慢性毒性を推定することができないという意味で特別扱いする必要があるからだ。

表 8 急性毒性と慢性毒性 (単位: $\mu\text{g/L}$)

物質名	急性毒性 96h LC50	慢性毒性の 閾値	急性値と 慢性値の比
E2	>2,000	0.01	>200,000
NP	520 ³³⁾	10	52

6 女性ホルモン様物質の河川中濃度

6.1 国土交通省の測定結果

国土交通省は全国の一級河川について調査している¹²⁾。これまでの調査結果をまとめると表 9 となる。

表 9 国土交通省による河川中濃度の測定結果 (単位は $\mu\text{g/L}$)

物質名	測定時期	測定数	検出限界	中央値	95%値	最大値
NP	H10 前	256	0.1	<0.1	0.5	1.9
NP	H10 後	261	0.1	<0.1	0.25	3.0
NP	H11 夏	261	0.1	<0.1	0.2	2.0
NP	H11 秋	140	0.1	<0.1	0.3	3.3
NP	H12 秋	131	0.1	<0.1	0.1	1.0
OP	H10 前	256	0.1	<0.1	<0.1	0.1
OP	H10 後	261	0.03	<0.03	<0.03	0.79
OP	H11 夏	261	0.01	<0.01	0.01	0.24
OP	H11 秋	140	0.01	<0.01	0.02	0.48
OP	H12 秋	131	0.01	<0.01	0.01	0.13
BPA	H10 前	256	0.01	0.01	0.10	1.4
BPA	H10 後	261	0.01	<0.01	0.07	1.3
BPA	H11 夏	261	0.01	<0.01	0.06	0.64
BPA	H11 秋	140	0.01	<0.01	0.10	0.65
BPA	H12 秋	131	0.01	<0.01	0.11	1.7
E2	H12 秋	131	0.0002	0.0002	0.0015	0.010

国土交通省の調査結果から次のことがいえる。

- ・ NPの濃度は低下傾向にある。環境に出やすい用途には使わないようにという界面活性剤工業会の自主規制が効果を上げているのであろう。
- ・ 国土交通省は、平成12年度の131地点と同じ地点で比較することにより、NP、BPA濃度は低下傾向にあると判断している¹²⁾。
- ・ NPの最大濃度地点はOPのそれと5回とも一致している。
- ・ NP、OP、BPAとも最大濃度を3回、綾瀬川の内匠橋で記録している。綾瀬川は一級河川の中では最も汚染されている(BODが高い)川である³⁴⁾。

6.2 環境省の測定結果

環境省の調査結果をまとめると表 10となる^{35,36)}。

表 10 環境省による河川中濃度の測定結果 (単位は $\mu\text{g/L}$)

物質名	測定時期	測定数	検出限界	中央値	95%値	最大値
NP	H10 夏	105	0.05	0.15	2.1	7.1
NP	H10 秋	128	0.05	0.07	1.5	21
NP	H11 冬	124	0.1	<0.1	0.6	4.6
OP	H10 夏	105	0.01	0.01	0.32	1.4
OP	H10 秋	128	0.01	0.01	0.23	13
OP	H11 冬	124	0.01	<0.01	0.07	0.61
BPA	H10 夏	105	0.01	0.02	0.32	0.94
BPA	H10 秋	128	0.01	0.01	0.17	0.71
BPA	H11 冬	124	0.01	0.01	0.24	0.71
E2	H11 冬	124	0.0001	0.0002	0.0027	0.011

E2はELISA法でなく、GC/MS法による分析結果である。

- ・ 国土交通省は一級河川が対象、環境省は二級河川が主たる対象である。両者の濃度をくらべると中央値では差がないが、95%値と最大値では環境省の方が高い傾向にある。
- ・ NP濃度が10 µg/Lを超えたのは2回である。平成10年秋に摂津市味生水路で21 µg/L、川崎市宮内排水路で12 µg/Lが測定されている。前者はどぶ川、後者は地元の人にも知られていない小さな排水路で、両者とも汚染全般の改善が必要な水路である。
- ・ NP濃度が5 µg/Lを超えたのは、平成10年夏の境川、日光川、国場川の3地点である。3地点ともその後濃度は低下している。たまたまそのとき濃度が高かったのか、改善されたのかは私にはわからない。
- ・ OP濃度が1 µg/Lを超えたのは2度である。平成10年秋の味生水路と平成10年夏の境川で、NP濃度が高かったのと一致している。

6.3 考察

環境省はNPのPLC試験のNOECである6.08 µg/Lの1/10である0.6 µg/Lを環境基準的な値と考えているようである²²⁾。この0.6 µg/Lを超えたのは、国土交通省の平成12年度の測定結果では131地点中綾瀬川の1地点のみ、環境省の平成11年度の測定では124地点中5地点である。6地点ともNPだけでなく汚染全般の改善が望まれる地点である。

7 下水処理の効果

国土交通省は、下水道で女性ホルモン様物質の90%以上が除去されていると報告している³⁷⁾。E2は75%で最も除去されにくい。流入下水中濃度と処理水中濃度を中央値で比較すると表11のとおりとなる。NP関連物質とは、NPを原料とした界面活性剤とその分解生成物の合計濃度をNP換算値で示したものである。

表 11 流入水、処理水中濃度の比較（単位はµg/L）

物質名	流入水中濃度	処理水中濃度
NP	4.4	0.2
NP 関連物質	98	8.6
BPA	0.53	0.02
E2(ELISA 法)	0.042	0.010

8 環境汚染は改善されている

化学物質による環境汚染は年々悪化していると報道されている。最近になって環境問題に関心をもつようになった人もそう思っているようだ。しかし、少なくとも水環境での汚染は、30年前にくらべて著しく改善されている。特に都市河川ではそうである。

私が住んでいる横浜市では次のようであった。「1970年頃、横浜市の主要河川の水質は最悪であった。河川水の透視度は10cmから20cmと悪く、真っ黒なヘドロが堆積していた。魚等生物の生息はほとんど確認できなかった。悪臭と汚水のために、川にフタをするようにという要求もあった。今ではそのようなことが過去にあったとは思われないほど水質の浄化が進んでいる。」³⁸⁾

一級河川では汚染度が最も高い綾瀬川でも、平成4年から12年までの間に、下水道の普及率が47%から71%に向上し、BODが28mg/Lから7mg/Lに低下し、生息している

魚の種類も5種から13種に増えている³⁴⁾。

多摩川の田園調布堰では、かつて堰から落ちる水がシャボン玉のような泡になって舞い上がり、「河川汚染の象徴」になっていたが、今では魚影が真っ黒に見えるほど、おびただしい数のアユが遡上するようになった。東京湾と多摩川がきれいになってきたからという^{39,40)}。

中田（東京農工大）らは、東京湾で採取した柱状堆積物試料を分析することにより、女性ホルモン様物質の環境への放出量の経年変化を推定している。E1とE2は1950年代より検出が始まり表層に向け濃度の上昇がみられた。1970年代以降は減少傾向を示す。NPとOPは1960年代後半に濃度のピークを示し、その後表層に向け濃度の減少がみられた。BPAは検出開始から表層に向け濃度の上昇傾向を示した^{41,42)}。以下は私の解釈である。E1とE2が1950年代から検出されるようになったのは、その頃から尿尿を畑にリサイクルしなくなったからであろう。E1やE2、NP、OPが1970年代から減少傾向を示しているのは、下水処理の普及や排水規制の強化によるのでであろう。一方、BPAでは濃度の増加傾向が続いたのは、1970年以降も生産量が増加し続けた珍しい化学品だからであろう。しかし、BPAも環境ホルモン騒ぎが生じてからは河川中濃度は低下傾向にある¹²⁾。

以上のように水環境は改善されている。まだ改善を要する点があったとしても、その前に「過去30年間に環境は確実に改善されてきた」という枕詞を言ってほしいと思うのである。それが長年まじめに環境改善に取り組んできた人達に対する礼儀と思うからだ。

9 おわりに

過去30年間に環境は確実に改善されてきたけれども、さらに水質を良くしたい。今まではBOD、CODを低減することを水質改善の中心にしてきたが、別の視点で検討してみようというのが、環境ホルモン問題だと思う。確かに、BODやCODでは把握できない低濃度でも水生生物に影響を与える化学物質がある。トリブチルスズ化合物とエストラジオールだ。前者は0.001 $\mu\text{g/L}$ で、後者は0.01 $\mu\text{g/L}$ 程度の濃度でも水生生物に影響する。

ノニルフェノール（NP）は10 $\mu\text{g/L}$ を超えると魚に影響があるという試験結果である。NPとして個別に管理する必要があるかもしれない。しかし、NPが高濃度で検出されるのは、汚染全般の改善を要する地点である。また、NPは活性汚泥処理で90%以上除去できる。これらのことを考えると、BOD、CODを低減するという従来の施策をすすめることで十分対応がとれるとも考えられる。

結論として、女性ホルモン様物質の水生生物への影響について、私は次のように考える。河川の水量に占める下水処理場放流水の比率が高い（概ね50%以上）ところでは、オスの魚にビテロゲニン（VTG）が高い頻度で検出される。これは尿由来の女性ホルモンの影響であろう。しかし、産卵、孵化、成長などに悪い影響を及ぼすほどの作用はなさそうだ。一方、精巣萎縮などの異常がみられるのは女性ホルモン様物質が原因ではない。

また、下水処理場放流水の比率が低い河川でも、VTGの高いオスのコイが頻度は低いが観察される。こちらは（尿由来の女性ホルモンも含め）化学物質が原因ではなさそうだ。

フィールド調査では、結論らしいことをいうのは極めて難しい。正常状態を知ることが特に難しい。それを知るためには地味で息の長い調査が必要である。今回の環境ホルモン騒ぎは、正常状態は何かを調べる努力をしないで、異常だ異常だと言っている部分が多い

ように思う。

なお、本稿は私個人の見解を述べたもので、特定の団体の意見を述べたものでないことをお断りしておく。

引用文献

- 1) 西川洋三、アロマティックス 51(1/2), 36-44 (1999)
- 2) 中村将ら、科学 68, 515-517 (1998)
- 3) 和波一夫ら、東京都環境科学研究所年報 p153-164 (2000)
- 4) 生方悠、日本水環境学会講演集 p91 (1999)
- 5) 島津輝之ら、東京都環境科学研究所年報 p165-174 (2000)
- 6) 板澤勉ら、環境科学会 講演要旨集 p110-111 (1999)
- 7) 滝上英孝ら、日本内分泌攪乱化学物質学会 研究発表会要旨集 p44 (1998)
- 8) 中田典秀ら、第9回環境化学討論会要旨集 p122-123 (2000)
- 9) N. Nakada, et al., 日本内分泌攪乱化学物質学会 研究発表会要旨集 p94 (2000)
- 10) 和波一夫ら、東京都環境科学研究所年報 p222-231 (1998年)
- 11) 建設省、水環境における内分泌攪乱化学物質に関する実態調査 (1999年11月)
- 12) 国土交通省 平成12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 (2001)
- 13) 環境庁 内分泌攪乱化学物質による野生生物実態調査結果 (1999年10月)
- 14) 征矢野清、日本内分泌攪乱化学物質学会 研究発表会要旨集 p57(1998)
- 15) 伊藤文成、2000年度日本水産学会春季大会 p294 (2000)
- 16) 横田弘文ら、化検協第4回研究発表会資料 p43-54 (1999)
- 17) 田所博、バイオアッセイ研究会 News Letter No.2 p18 (2001)
- 18) 横田弘文ら、内分泌攪乱化学物質に関する国際シンポジウム要旨集 p93 (1999)
- 19) 妻益俊ら、日本内分泌攪乱化学物質学会 研究発表会要旨集 p214 (2000)
- 20) 横田弘文、内分泌攪乱化学物質に関する国際シンポジウム要旨集 p94-95 (2000)
- 21) 横田弘文ら、第6回バイオアッセイ研究会 講演要旨集 p23 (2000)
- 22) 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)
- 23) 妻益俊ら、日本内分泌攪乱化学物質学会 研究発表会要旨集 p116 (2000)
- 24) 松原永季、日本水環境学会年回講演集 p453 (2001)
- 25) 横田弘文ら、内分泌攪乱化学物質に関する国際シンポジウム要旨集 p56-57 (1998)
- 26) H Yokota, et al., Environ Toxicol Chem 19(7),1925-1930 (2000)
- 27) 妻益俊ら、日本水環境学会年回講演集 p561 (2001)
- 28) A.C.Nimrod, et al., Aquatic Toxicol 44(1998) 141-156
- 29) Reinhard Lange, et al., Environ Toxicol Chem 20(6) 1216-1227(2001)
- 30) Sohoni P, et al., Environ Sci Technol 35(14) 2917-2925 (2001)
- 31) EJ Routledge, et al., Environ Toxicol Chem 32, 1559-1565 (1998)
- 32) Metcafe CD, et al., Environ Toxicol Chem 20(2), 297-308 (2001)

- 33) 塩田勉ら、東京都環境科学研究所年報 P53-58 (2000)
- 34) 国土交通省 平成 12 年度全国一級河川の水質現況 (2001)
- 35) 環境庁、平成 10 年度水環境中の内分泌攪乱化学物質の実態調査について (1999)
- 36) 環境庁、平成 11 年度水環境中の内分泌攪乱化学物質の実態調査について (2000)
- 37) 国土交通省、平成 12 年度下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査の結果について(2001)
- 38) 横浜市環境科学研究所「大岡川・境川水系生態調査報告書」p21 (1996)
- 39) 朝日新聞 (2000 年 8 月 18 日)
- 40) 神奈川新聞 (2001 年 5 月 31 日)
- 41) 第 10 回環境化学討論会講演要旨集 p132-133 (2001)
- 42) T Isobe, et al., *Environ Sci Technol* 35, 1041-1049 (2001)