

# 多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その11）

## 下水処理場におけるエストロジェンの収支

嶋津暉之 和波一夫 柳田房洋\* 田村 基\*

(\*埼玉工業大学)

### 要 旨

下水処理場におけるエストロジェンの収支を明らかにするため、多摩川流域の三つの処理場を対象として、処理工程別の24時間調査を行った。この結果、主に次のことが明らかになった。

- (1) 流入水ではエストロンはエストラジオールの3～5倍、最初沈殿池出口では3～8倍、放流水では3～5倍の値を示し、いずれもエストロンが占める割合が非常に大きかった。
- (2) 延べ6回の調査による下水処理場のエストロジェン平均除去率は69%で、処理場別にみると、除去率は45～90%の間であった。その除去のほとんどはばっ気槽での分解によるものであって、汚泥に移行する割合はわずかであった。
- (3) 下水処理場のエストロジェン除去率に影響する重要な要因はばっ気槽の処理時間であって、処理時間が長くなれば、放流水のエストロジェン濃度が低下することが示唆された。

キーワード：エストロジェン、17 $\beta$ -エストラジオール、エストロン、下水処理場、ELISA 法、酵母法、LC-MS/MS法

### 1 はじめに

1998年、多摩川のコイに関する生殖異変の調査結果が横浜市立大等のグループから発表された。その発表を受けて、当研究所では、多摩川を中心に、河川におけるコイ等の生殖異変の実態、その原因物質とされる内分泌かく乱化学物質の河川中の挙動と下水処理場からの排出実態について調査を行ってきた。これらの調査の結果、内分泌かく乱化学物質のうち、魚類の生殖異変を起こす可能性の高い物質は天然エストロジェン（女性ホルモン）であり、そのほとんどは下水処理場から排出されていることが明らかになった<sup>1)2)</sup>。また、下水処理場放流水のエストロジェンの濃度は時間変化が非常に大きく、その排出量を把握するためには24時間調査が必要であることも明らかになった<sup>3)</sup>。

今回、以上の調査結果を踏まえて、下水処理場の処理工程においてエストロジェンがどのように除去さ

れ、排出されているかを知るため、多摩川流域の三下水処理場を対象として、工程別の24時間調査を行った。この調査により、下水処理場におけるエストロジェンの収支が明らかになり、エストロジェン除去率を向上させるための方向性が得られたので、その結果を報告する。

### 2 方法

#### (1) 調査の対象と方法

多摩川流域にあるA、B、C下水処理場を調査対象とした。三処理場の一日平均処理水量はそれぞれ一日約2～5万m<sup>3</sup>である。図1のとおり、各処理場の最初沈殿池入口（流入水）、最初沈殿池出口、放流口の3カ所にそれぞれ自動採水器を設置して1時間ごとに24回自動採水を行い、翌日、採水試料を回収した。更に、汚泥関係については初沈汚泥（最初沈殿池からの

引き抜き汚泥)、余剰汚泥(最終沈殿池からの引き抜き汚泥)、汚泥濃縮槽上澄液、汚泥脱水機分離液、汚泥脱水ケーキの手採取を1日目と2日目に各1回行った。なお、24時間採水試料は3時間ごとに均等混合して、汚泥関係は1日目と2日目を均等混合して分析に供した。

3 処理場の24時間調査を2001年10月と2002年の1～2月に実施した。

(2) 分析の方法

内分泌かく乱化学物質については既報<sup>4)</sup>の図1のフローで試料の濃縮を行った上で、次の項目を分析した。

- ・17β-エストラジオール
- ・エストロン
- ・エストロジェン総合作用強度

17β-エストラジオールとエストロンは天然エストロジェンであって、河川水や下水処理水のエストロジェン作用強度の大半はこの二つの物質に由来すると考えられている。これらはELISA法(抗原抗体反応を利用した酵素免疫法)で測定した。また、一部の試料についてはLC-MS/MS法でも17β-エストラジオールとエストロンの分析を行った。

ELISA法の分析に用いたキットは次のとおりである。

- ・17β-エストラジオール：TAKEDA17β-Estradiol ELISAキットを使用した。
- ・エストロン：①TAKEDA Estrogen ELISAキットと②TAKEDA17β-Estradiol ELISAキットの両キットを使用し、①の分析値から②の分析値を引いてエストロンを求めた。

LC-MS/MS法の分析はWaters 2690 alliance systemにより行った。検出器はSciex APX 3000 MS-8、カラムはL-Column ODSを用いた。

また、エストロジェン総合作用強度の測定法については既報<sup>4)</sup>で述べたとおり、三種類の手法、すなわち、バインディングアッセイ法、大阪大学の遺伝子組み換え酵母法、Brunel大学の遺伝子組み換え酵母法を比較検討した結果、最も感度の高いBrunel大学の酵母法を採用した<sup>5)</sup>。測定手順は既報<sup>4)</sup>のとおりである。

その他に、C-BOD、COD、TOC、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>x</sub>-N、T-P、PO<sub>4</sub>-Pの一般項目も分析した。分析の方法は窒素・りんの各項目はオートア

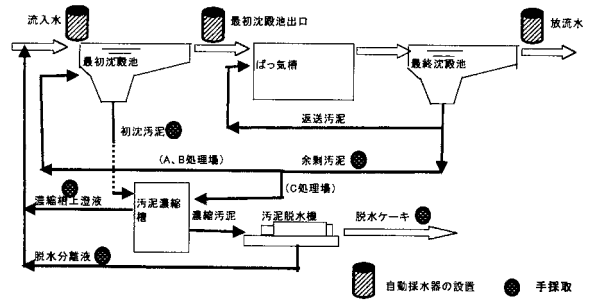


図1 下水処理場の調査方法

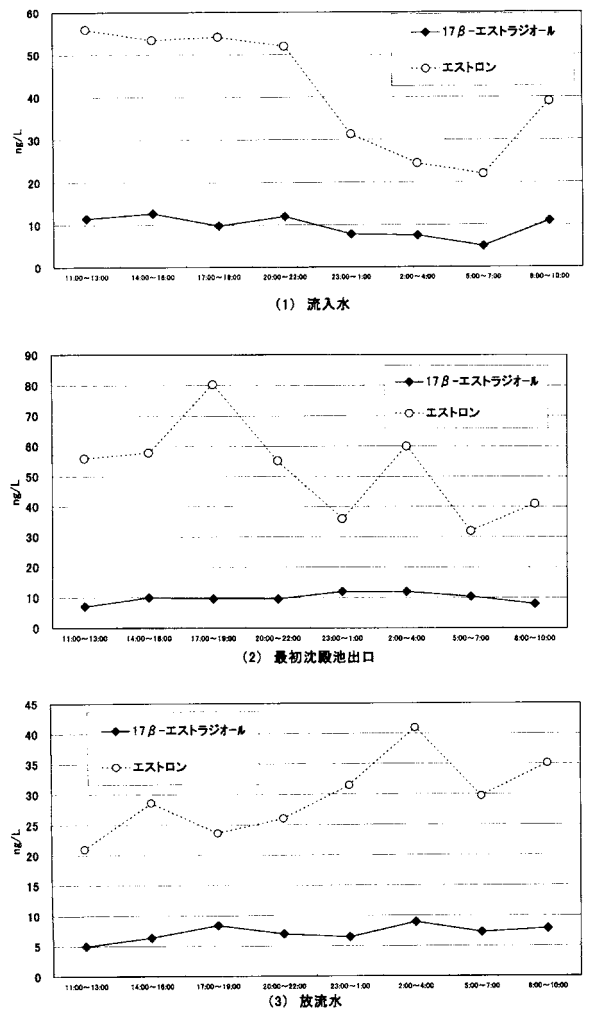


図2 エストロジェン(ELISA法)の時間変化 (B処理場 2002年1月)

ナライザー、TOCはTOC計を使用し、その他の項目はJ I S-K0102にしたがって分析を行った。

3 結果と考察

(1) 17β-エストラジオールとエストロン

天然エストロジェンは、女性の体内では17β-エス

トラジオール（以下、エストラジオールと記す）が主分泌産物であるが、その一部は肝臓でエストロン、エストリオールに代謝される。人体等から排出された後の環境中ではエストリオールは微量であって<sup>1)</sup>、天然エストロジェンはエストラジオールとエストロンで構成される。流入水、最初沈殿池出口、放流水の時間別試料のエストラジオールとエストロンをELISA法で測定した結果の例を図2に示す（B処理場の2002年1月調査結果。後出の図3、4、6～9も同じ）。

流入水ではエストロンはエストラジオールの3～5倍、最初沈殿池出口では3～8倍、放流水では3～5倍の値を示し、いずれもエストロンが占める割合が非常に大きい。放流水だけでなく、流入水においてもエストロンの割合が高いことは処理場内での微生物分解や酵素分解ではなく、人体からの天然エストロジェンの排出特性に由来するものと考えられる。

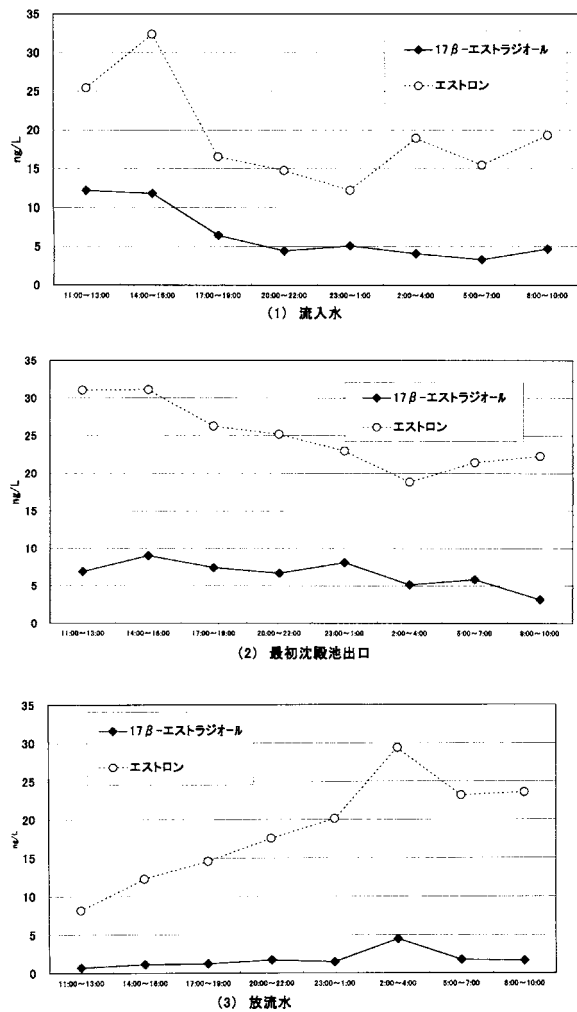


図3 エストロジェン（LC-MS/MS法）の時間変化（B処理場 2002年1月）

同様に、LC-MS/MS法によるエストラジオールとエストロンの分析値を図3に示す。ELISA法の分析値と比較すると、多少の傾向の違いがある。LC-MS/MS法の結果では処理工程が進むにつれて、エストロンよりもエストラジオールの方の減少率が高く、その結果、エストロンの占める割合が大きくなっている。

(2) 三つの分析法によるエストロジェン作用強度

酵母法で得られたエストロンのエストロジェンとしての作用強度はエストラジオールの0.27倍であるので、この比をエストロンの濃度に乗じてエストラジオールの濃度に加算し、2成分のエストロジェン作用強度を求めた。流入水、最初沈殿池出口、放流水の2成分作用強度の時間変化を図4に示す。同図には酵母法で得られたエストロジェン総合作用強度の時間変化も示した。この作用強度もエストラジオール換算濃度で表示した。

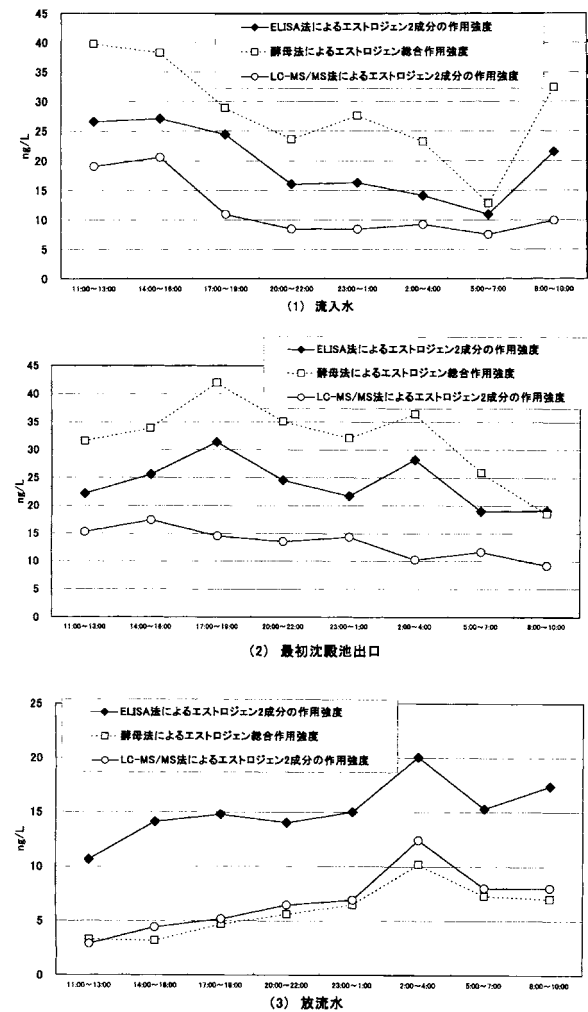


図4 エストロジェン作用強度の時間変化（B処理場 2002年1月）

酵母法によるエストロゲン総合作用強度にはエストロゲン2成分の他にノニルフェノール、ビスフェノールA、オクチルフェノール等の人工化学物質や経口避妊薬の主成分であるエチニルエストラジオールによるものも含まれているが、既報<sup>4)</sup>のとおり、これらの人工化学物質のエストロゲン作用強度は小さく、また、エチニルエストラジオールはほとんど検出されていないので、総合作用強度の大半はエストロゲン2成分によるものと考えられる。図4をみると、ELISA法、LC-MS/MS法、酵母法の結果は一部を除いて異なる値を示し、流入水と最初沈澱池においてはELISA法はLC-MS/MS法の1.5～2倍、酵母法はLC-MS/MS法の2～2.5倍の値、放流水においてはELISA法はLC-MS/MS法の2～2.5倍の値、酵母法はLC-MS/MS法とほぼ同じ値であった。このように分析値に差が生じる理由として、ELISA法や酵母法の場合はエストロゲンおよびエストロゲン様物質以外の物質にも反応してしまうことや、エストロゲンそのものが構造変化を起こしてLC-MS/MS法では完全に把握できないことなどが考えられるが、現段階では詳細は不明である。

ELISA法とLC-MS/MS法、酵母法とLC-MS/MS法についてエストロゲン作用強度の相関図を図5に示す。それぞれの関係はバラツキがあるけれども、相関係数として前者が0.90、後者が0.94の値が得られており、危険率5%で相関が認められた。したがって、相対的にはそれぞれの分析法の結果でエストロジェンの動向を判断することは可能と考えられる。

(3) エストロジェンの時間変化

前出の図4において3時間ごとの変化をみると、流入水においてはELISA法、LC-MS/MS法、酵母法とも最大値は最小値の2.5～3倍、最初沈澱池においては3方法とも2倍前後、放流水においてはELISA法では2倍、LC-MS/MS法、酵母法では3～4倍の値を示しており、エストロゲンは時間変化が大きいことが特徴である。

参考までに、流入水と放流水のC-BOD、COD、TOCの時間変化、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>x</sub>-Nの時間変化、T-Pの時間変化を図6、7、8に示す。これらの図をみると、流入水では有機物質、窒素、りん

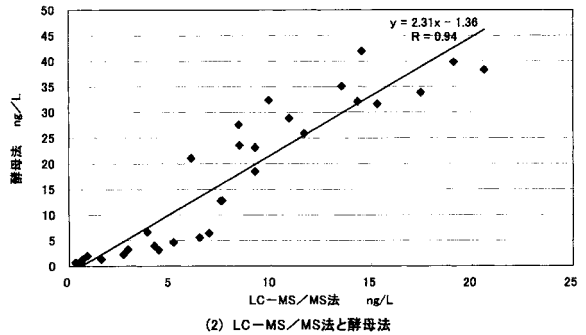
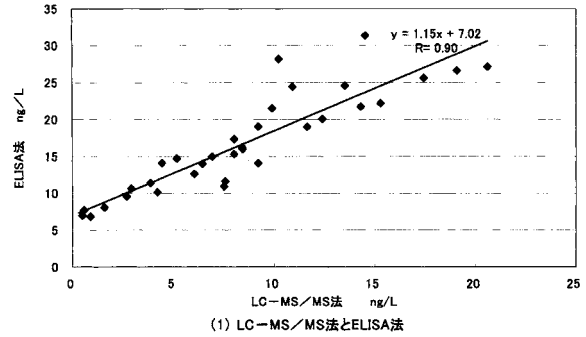


図5 各測定法によるエストロゲン作用強度の相関図

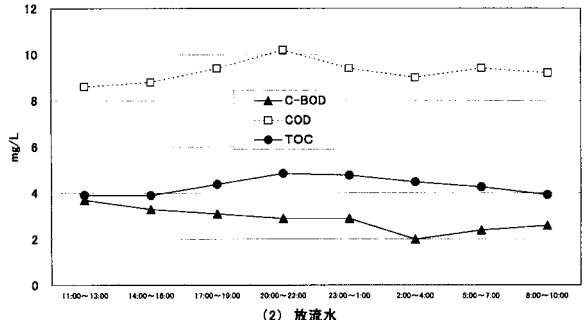
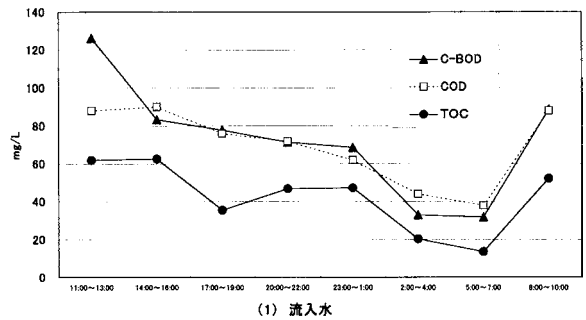


図6 有機物質の時間変化 (B処理場2002年1月)

4-Nを除くと、時間変化がかなり小さくなり、処理工程を通過することによって変動が吸収されていく様子が伺える。

これに対して、エストロゲンの場合は放流水においても時間変化が大きい。2000年度に行った下水処理場放流水の24時間調査では放流水中のエストロジェンの時間変化が大きくなる原因を毎時データの解析から

次のように推定した<sup>3)</sup>。「エストロジェンは除去率が比較的小さいため、流入水濃度の変化が放流水の濃度に反映する。また、流入水量が小さくなって処理時間が長くなると、エストロジェンの分解が進むので、放流水の濃度が低下する。両者の影響で放流水のエストロジェンの時間変化が生じる。」

流入水量と放流水量の時間変化を図9に示す。同図と図4を対比させてみると、今回は毎時の水質データではなく、3時間ごとの平均水質データであるので、2000年度の調査結果のような傾向は明瞭ではないが、放流水エストロジェン濃度における11:00~13:00の最小値は、流入水量の4:00~6:00の極小化によるエストロジェンの分解進行を（処理工程の通過時間を経て）反映したものであり、2:00~4:00の最大値は最初沈殿池出口の17:00~19:00におけるエストロジェン濃度のピークを反映したものであると推測される。

このように、エストロジェンは放流水でも時間変化が大きいので、その排出実態を知るためには24時間調査が必須である。

(4) エストロジェンの収支

図4に例示した24時間調査データと汚泥関係のエストロジェン分析値および水量・汚泥処理量のデータから、各処理場についてエストロジェンの収支を求めた。その結果を表1に示す。

延べ6回の調査の平均値をみると、酵母法とELISA法の平均エストロジェン作用強度は流入水39ng/L、最初沈殿池出口37ng/L、放流水12ng/Lであり、最初沈殿池ではエストロジェンはほとんど除去されていない。ばっ気槽と最終沈殿池を通過することにより、全体として27ng/Lのエストロジェンが除去されている。このうち、汚泥移行分は放流水量1Lあたり1.8ngであり、わずかであった。延べ6回の調査によるエストロジェン平均除去率は69%、汚泥移行率の平均は4.7%であった。

各処理場のデータをみると、エストロジェンの除去率は45~90%の間にあり、処理場とその時の処理状況によってエストロジェンの除去率に大きな差がある。汚泥移行率は0.7~8.0%であり、これも処理場等によって大きな差があるが、いずれも10%以下であった。

延べ6回の調査の平均値を用いて処理場における

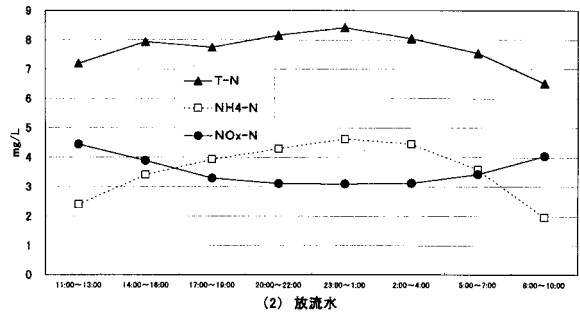
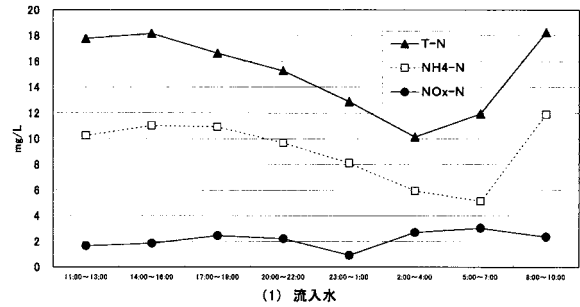


図7 窒素成分の時間変化 (B処理場2002年1月)

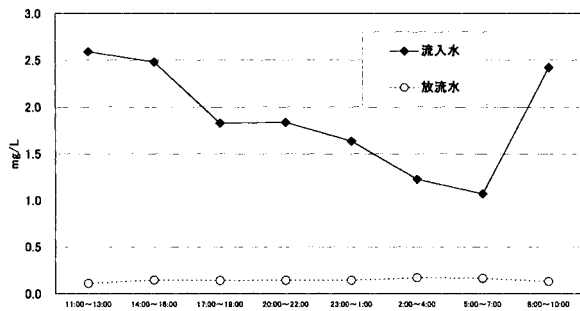


図8 全りんの時間変化 (B処理場2002年1月)

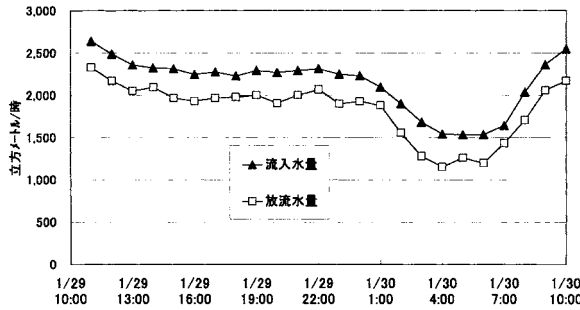


図9 流入水量と放流水量の時間変化 (B処理場2002年1月)

エストロジェンの収支を図示した結果を図10に示す。上述のとおり、最初沈殿池でのエストロジェンの除去はわずかで、エストロジェンは主にばっ気槽以後の工程で除去されている。そして、最終沈殿池から引き抜かれた余剰汚泥に含まれるエストロジェン量もわずかであるから、エストロジェンの除去のほとんどはばっ

気槽での分解によるものである。初沈汚泥や余剰汚泥へのエストロゲン移行量が非常に少ないため、汚泥濃縮槽上澄液や脱水分離液とともに汚泥処理工程から水処理工程に還元されるエストロゲンもわずかになっている。

エストロジェンの処理状況を一般の水質項目と比較するため、T-N、T-P、TOC、BOD、CODの収支を表2に示す。平均除去率はそれぞれ53%、80%、88%、94%、86%であり、BODの除去率が最も高く、次いでCOD、TOC、T-P、T-Nの順序であり、エストロジェンの除去率はT-PとT-Nの中間にある。T-N、T-P、TOCの汚泥移行率の平均はそれぞれ31%、74%、34%であり、それと比べてエストロジェンの汚泥移行率は一桁小さく、汚泥への移行が非常に少ないのがエストロゲンの特徴である。

(5) エストロゲン除去率の影響要因

上述のように、下水処理場におけるエストロジェンの除去はばっ気槽における分解によるものであり、除去率は処理場とその時の処理状況によって最小45%、最大90%になっている。エストロゲン除去率に差が生じる原因を探るため、ばっ気槽の処理時間（ばっ気槽容量/放流量）、ばっ気槽のMLSS濃度、放流水の水温との関係を調べた。その結果を図11に示す。

まず、同図(1)の処理時間と除去率との関係については6データのうち、5つが同程度の処理時間であるため、傾向を議論しにくい。処理時間が10時間を越えた1データでは90%の除去率が得られており、処理時間がエストロジェンの除去に影響する重要な要因であることが伺える。

次に、同図(2)において処理時間が同程度である5

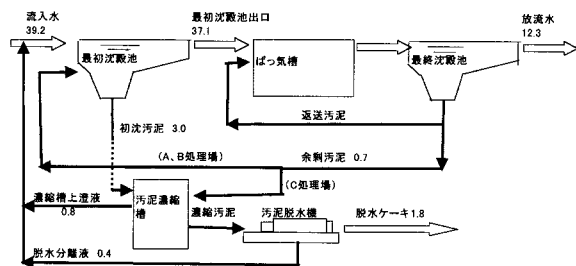


図10 エストロジェンの収支  
(3処理場、延べ6回の平均)  
(酵母法とELISA法の平均エストロゲン作用強度を放流量1Lあたりの量 (ng) で示す)

表1 エストロジェンの収支  
(放流量1Lあたりの換算量 (ng) を示す)

(1) 酵母法によるエストロゲン総合作用強度

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	33	24	35	50	40	35	36
最初沈殿池出口	32	21	31	50	37	34	34
放流水	6	6	18	2	6	15	9
初沈汚泥	0.7	3.8	3.3	1.8	5.6	0.9	2.7
余剰汚泥	0.1	0.1	0.1	1.7	2.7	0.2	0.8
濃縮槽上澄液	0.2	1.5	0.0	0.6	2.5	0.0	0.8
脱水分離液	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.7	0.4
除去量	27	18	17	48	35	20	27
汚泥移行量	0.2	1.8	2.8	0.8	2.8	0.4	1.5
除去率	82%	75%	48%	97%	86%	57%	76%
汚泥移行率	0.6%	7.3%	8.1%	1.6%	6.9%	1.1%	4.0%

(2) ELISA法によるエストロゲン2成分作用強度

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	42	24	42	61	29	55	42
最初沈殿池出口	42	22	39	61	24	51	40
放流水	21	10	24	9	15	16	16
初沈汚泥	0.9	2.2	3.2	3.8	5.3	4.0	3.2
余剰汚泥	0.1	0.1	0.3	1.6	1.0	0.6	0.8
濃縮槽上澄液	0.2	0.8	0.0	0.8	2.5	0.0	0.7
脱水分離液	0.4	0.2	0.6	0.6	0.1	0.7	0.4
除去量	21	14	18	52	14	39	26
汚泥移行量	0.3	1.1	3.0	2.4	2.7	3.8	2.2
除去率	51%	58%	42%	85%	48%	71%	62%
汚泥移行率	0.8%	4.8%	7.2%	3.8%	9.5%	7.0%	5.3%

(3) 酵母法とELISA法の平均エストロゲン作用強度

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	36	24	38	56	34	45	39
最初沈殿池出口	37	21	35	55	31	43	37
放流水	13	8	21	5	10	15	12
初沈汚泥	0.8	3.0	3.3	2.8	5.5	2.4	2.9
余剰汚泥	0.1	0.1	0.2	1.6	1.9	0.4	0.7
濃縮槽上澄液	0.2	1.2	0.0	0.7	2.5	0.0	0.8
脱水分離液	0.3	0.4	0.5	0.5	0.2	0.7	0.4
除去量	24	16	17	50	24	29	26.8
汚泥移行量	0.3	1.5	2.9	1.6	2.8	2.1	1.8
除去率	64%	66%	45%	90%	70%	65%	69%
汚泥移行率	0.7%	6.1%	7.6%	2.8%	8.0%	4.7%	4.7%

表2 一般項目の収支  
(放流量1Lあたりの換算量 (mg) を示す)

(1) T-N

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	14.6	16.5	26.2	30.1	19.6	30.9	23.0
最初沈殿池出口	14.4	11.9	18.3	30.2	16.0	21.4	18.7
放流水	9.9	6.7	11.7	14.3	7.7	14.6	10.8
除去量	4.7	9.8	14.5	15.8	11.9	16.3	12
汚泥移行量	2.5	6.1	7.9	7.6	6.8	12.0	7.2
除去率	32%	59%	55%	53%	61%	53%	53%
汚泥移行率	17%	37%	30%	25%	35%	39%	31%

(2) T-P

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	1.7	1.9	4.8	4.5	2.3	4.9	3.3
最初沈殿池出口	1.8	1.3	2.0	3.9	1.9	2.1	2.2
放流水	0.8	0.3	1.1	1.0	0.1	0.7	0.7
除去量	0.9	1.6	3.7	3.5	2.1	4.2	3
汚泥移行量	0.7	1.4	3.2	4.2	1.5	3.8	2.5
除去率	55%	84%	77%	78%	94%	85%	80%
汚泥移行率	39%	78%	67%	78%	66%	78%	74%

(3) TOC

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	34	39	64	79	56	69	57
最初沈殿池出口	25	23	37	57	34	40	36
放流水	5	4	9	5	4	13	7
除去量	29	34	55	72	52	57	50
汚泥移行量	7	16	23	19	22	29	19
除去率	86%	89%	85%	93%	92%	82%	88%
汚泥移行率	20%	41%	36%	25%	39%	41%	34%

(4) BOD

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	119	72	156	149	89	149	122
最初沈殿池出口	126	53	67	81	42	73	74
放流水	5	3	12	3	3	19	7
除去量	114	69	144	146	86	131	115
除去率	96%	96%	92%	98%	97%	88%	94%

(5) COD

	2001年10月			2002年1-2月			平均
	A処理場	B処理場	C処理場	A処理場	B処理場	C処理場	
流入水	72	50	88	128	84	91	86
最初沈殿池出口	39	34	49	71	48	55	49
放流水	10	7	16	11	9	18	12
除去量	63	43	73	117	75	73	74
除去率	86%	86%	82%	91%	89%	80%	86%

データについてMLSS濃度と除去率との関係を見ると、MLSSの上昇とともに除去率が高くなるという傾向はみられない。エストロジェンの分解が微生物分解によるものならば、MLSS濃度を引き上げてばっ気槽の微生物濃度を高めることは除去率の向上につながるはずであるが、同図ではそのような傾向が明らかではない。

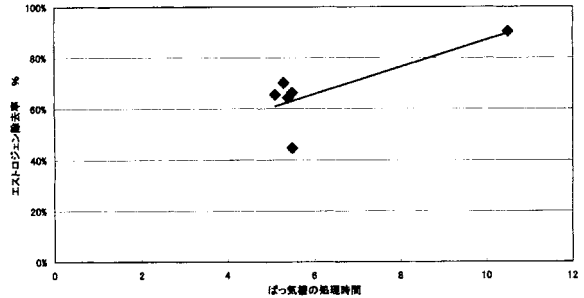
また、同図(3)においては水温の上昇とともに、除去率が低下する傾向がみられるけれども、水温の上昇が分解速度を低下させることはありえず、他の要因が作りだした疑似的な傾向であると考えられる。

データが少ないため、エストロジェンの除去率を左右する要因を特定することはむずかしいけれども、既報<sup>3)</sup>でもばっ気槽の処理時間が影響要因であることを示唆するデータが得られており、処理時間が長くなれば、エストロジェンの除去率が低下すると推測される。

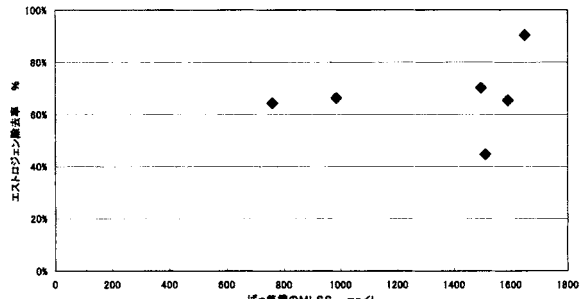
また、MLSS濃度の上昇がエストロジェン除去率の低下に結びつかないとすれば、ばっ気槽におけるエストロジェンの分解は微生物分解ではなく、酵素分解か又は他の分解機構によることになる。既報<sup>1)</sup>で報告したとおり、多摩川では下水処理場から放流されたエストロジェンが数時間の流下で半分以下まで低下するという結果が得られている。多摩川の場合、放流直後の河川水のエストロジェン濃度は10~15ng/Lで、それが数時間の流下で4~5ng/Lまで低下しており、1時間の減少濃度は2~3ng/Lになる。一方、下水処理場の場合、ばっ気槽での約6時間の滞留で15~30ng/L減少しているから、1時間あたりの減少濃度は2~5ng/Lになり、多摩川と大きな差はない。このことは、ばっ気槽においても河川と共通の分解機構によってエストロジェンが分解していくことを示唆している。この分解の機構については今後、室内実験で検証していく予定である。

(6) エストロジェンの排出量

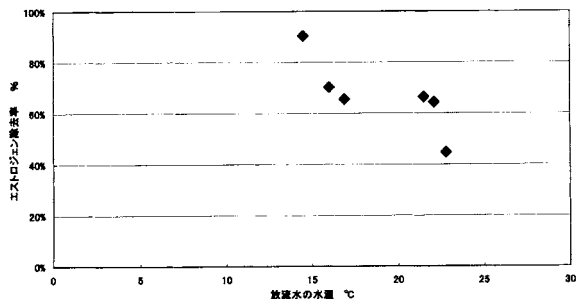
今回の調査で得られた下水処理場へのエストロジェン流入量の値を用いて人体からのエストロジェン排出量を試算すると、一人あたりのエストロジェン+エストロンの排出量は80~230 $\mu$ gになる。ただし、各処理場の現在処理人口の半数を女性とした。これはELISA法による値であって、LC-MS/MS法も併用したB処理場1月の値はELISA法が145 $\mu$ g、LC-MS/MS



(1) ばっ気槽の処理時間とエストロジェン除去率(ELISA法と酵母法の平均)



(2) ばっ気槽のMLSSとエストロジェン除去率(ELISA法と酵母法の平均)



(3) 水温とエストロジェン除去率(ELISA法と酵母法の平均)

図11 エストロジェン除去率の影響要因

法が85 $\mu$ gであった。2000年度の放流水24時間調査から推測した一人あたり排出量は80~190 $\mu$ g (ELISA法)であり<sup>3)</sup>、今回の試算値はこの推測値に近い値になった。

中央薬事審議会の資料<sup>6)</sup>によれば、女性のエストロジェン排出量は一人一日数~60 $\mu$ gである。ただし、妊娠中の女性からは妊娠初期で200~400 $\mu$ g、男性からも数 $\mu$ g程度が排出されるとされている。この文献値と比較して、今回の試算値も2000年度の推測値も高い値になっており、エストロジェン排出量については今後の検討が必要である。

4 おわりに

多摩川流域にある三つの下水処理場を対象として、処理工程別の24時間調査を延べ6回行って、エストロジェンの収支について解析を行った。この結果、主に

次のことが明らかになった。

- ① 流入水ではエストロンはエストラジオールの3～5倍、最初沈殿池出口では3～8倍、放流水では3～5倍の値を示し、いずれもエストロンが占める割合が非常に大きかった。これは、人体からの天然エストロジェンの排出特性に由来するものと考えられる。
- ② ELISA法、酵母法、LC-MS/MS法の測定値から求めたそれぞれのエストロジェン作用強度を比較したところ、前二者は後者の2～3倍の値になることがあるが、LC-MS/MS法に対するELISA法と酵母法の相関係数は0.9以上の値が得られたので、相対的にはそれぞれの分析法の結果でエストロジェンの動向を判断することは可能と考えられる。
- ③ エストロジェン作用強度は流入水、最初沈殿池、放流水とも時間変動が非常に大きく、3時間平均の最大値は最小値の2～3倍以上の値を示した。有機物質、窒素、りんの場合は放流水では最小値と最大値の比は1.5倍程度で小さく、それと比べて放流水でも時間変動が大きいことがエストロジェンの特徴である。
- ④ 延べ6回の調査による下水処理場のエストロジェン平均除去率は69%で、処理場別にみると、除去率は45～90%の間であった。
- ⑤ 処理場内のエストロジェンの収支をみると、汚泥に移行するエストロジェンの割合は平均では流入量の約5%であり、エストロジェンの除去はほとんどがばっ気槽での分解によるものであった。有機物質、窒素、りんと比較すると、エストロジェンの汚泥移行率は一桁小さく、エストロジェンは汚泥に移行しにくい成分である。
- ⑥ 下水処理場のエストロジェンの除去率に影響する要因を検討したところ、ばっ気槽の処理時間が重要な要因であって、処理時間が長くなれば、放流水のエストロジェン濃度が低下することが示唆された。

今回の下水処理場の調査を実施するにあたり、各処理場の担当者の多大な協力を得た。また、本研究におけるELISA法の分析の一部およびLC-MS/MS法の分析は(株)ヤクルト本社中央研究所への委託により行った。以上の方々に厚く謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 和波一夫ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その6）、東京都環境科学研究所年報 2001, p.72～81.
- 2) 和波一夫ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その10）、東京都環境科学研究所年報 2002, p.66～74.
- 3) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その7）、東京都環境科学研究所年報 2001, p.82～90.
- 4) 嶋津暉之ら：多摩川等の環境ホルモン問題に関する研究（その3）、東京都環境科学研究所年報 2000, p.165～175.
- 5) Routledge, E.J. & Sumpter, J.P.: Yeast Screen Protocol (1996)
- 6) 中央薬事審議会：ピルの内分泌攪乱化学物質としてのまとめ（1999年3月）



# Study on Endocrine Disrupters in Tokyo's Rivers (11) Income and Outgo of Estrogen in Sewage Disposal Plants

Teruyuki Shimazu, Kazuo Wanami,  
Husatoshi Yanagida\* and Motoi Tamura\*  
(\*Saitama Institute of Technology)

## Summary

A 24-hour investigation of each treatment process was conducted to clarify the income and outgo of estrogen in three sewage disposal plants in the Tama River basin.

- (1) The estrone level was 3 to 5 times that of estradiol in the inflow water, 3 to 8 times in the effluent of the first settling tank and 3 to 5 times in the discharged water. Any process water showed a high level of estrone.
- (2) Estrogen removal rate ranged from 45 to 90% for each disposal plant while the average over the six investigations was 69%. Very little of the estrogen shifted to sludge and most of the removal was dependent on decomposition in the aeration tank.
- (3) The most important factor that influenced the rate of estrogen removal in the sewage disposal plants was the processing time of the aeration tank. When this time was long, it was suggested that the estrogen concentration in the discharged water fell.

**Keywords:** estrogen, 17  $\beta$ -estradiol, estrone, sewage disposal plant, ELISA method, yeast method, LC-MS/MS method