環境ホルモンによる水質汚染の問題*

松 井 三 郎**

The Issue of Water Pollution Caused by Endocrine Disruptors

Saburo MATSUI

1. は じ め に

内分泌攪乱物質（環境ホルモン）について社会的関心が高まった事は大変重要である。先進国は化学産業においても主要生産国であり、日常7万種を超える化学物質を製造し、様々に利用している。それらの内、医薬品については人間に対する影響が当然調査されているが、生態系影響は不十分な知見しかない。農薬は、人と限られた昆虫、植物についての調査は当然されているが、プラスチック、塗料等多用途の化学物質は人および生態系への影響が良くわからないまま使用し、環境に放出している。また廃棄物燃焼によって非意図的に作られ排出されるダイオキシン類もある。これらの化学物質が微量な環境汚染をして人や野生生物の内分泌を攪乱する作用について、全く考慮されてこなかった。この問題が提起する内容は大変大きい。一方、微量な環境汚染物質の分析技術は長足の進歩をとげ、ppm から ppb、そして ppt レベルの検出が可能になってきた。今や微量汚染物質の影響は環境濃度 ppt レベルで議論されている。発ガン性物質がヒトの体内で影響を発現する血中濃度や、内分泌攪乱物質（環境ホルモン）が—おそらく免疫影響や神経系影響の物質の濃度も、ほぼ同じ—影響を発現する血中濃度が、ppb, ppt レベルであることが漸く分かってきた。このことは、環境汚染物質がヒトと生物に影響を与える機序を理解する上で重要な理解となる。環境中の濃度が、ppb, ppt であっても、動物が食物連鎖で摂取して血中濃度が、ppb, ppt になれば、影響が生じることになる。このように食物連鎖の機構をより詳しく解明することも必要となっている。

20世紀は、化学が進歩し人間生活を便利にしてきた側

面がある一方、合成化学物質による人、生態系への事故、影響について様々な問題も作り出してきた。20世紀化学文明の「影」の部分明らかにし、都市環境を安全なものに改善することが21世紀の大きな課題である^{1,2)}。

2. 微量汚染物質に対する誤った認識を
変える環境ホルモン

都市は人と物質が移動する高密度空間である。移動する物質の中に多種類の化学物質があり、その中に人と生態系に影響を与えるものがある。都市活動の「静脈系」と呼ばれるものは、下水道であり、廃棄物処理処分である。下水道は水道、都市雨水と連携した重要なシステムであるが、化学物質が流れ込んできて集中するシステムでもある。処理した水は再び、河川、海に戻され循環される。水循環を安全にするには、下水処理場の機能を正しく使う必要がある。

微量有害物質は、希釈拡散して薄めてしまえば安全になる。そのような観点から、化学物質は下水道に集まり希釈され、活性汚泥が分解して安全にすると安易に思っていた。しかし、活性汚泥は思ったより万能ではないことが研究で明らかにされつつある。例えば、下水中に含まれるフミン質やフルボ酸、活性汚泥分解産物など、いわゆる溶存有機物質 (DOM) に微量化学物質が収着して活性汚泥側に移行する量が減り、見かけ上処理されずに処理水に流出することが分かってきた。また河川、湖沼、海水のフミン質に収着して見かけ上底質に移行が減り、溶存態で存在することから生物濃縮され易くなると考えられる。ダイオキシン、PCB 等の物質の挙動はこの現象に当てはまる。

このように環境ホルモン問題は、今まで考えられていなかった重要な盲点をついている。環境ホルモンと呼ばれる物質は、従来の化学物質の毒性概念に当てはまらない面がある。環境ホルモン物質は生物の血中に極めて低濃度でも、内分泌を攪乱させる。性ホルモンに関係する

* 平成12年6月1日本会第104回例会において発表

** 京都大学大学院工学研究科附属環境質制御研究センター センター長 教授
平成12年2月28日受理

場合は、男性生殖器、女性生殖器の発達が異常になり、子孫継続に支障となる。甲状腺ホルモンに関係する場合、子供の身体と知能成長を妨げるし、免疫機構を阻害する可能性がある。いずれも、血中の極低濃度で起こる可能性があり、それは環境中の濃度（水、大気、食物など）も極めて低い事を示す。

3. 環境ホルモンが提起する様々な環境有害性

現在アメリカ EPA が提起し、疑われている物質は約70種類である。それらのうち指摘されている環境ホルモン物質は、ダイオキシン類、PCB 類に加えて船の船底に塗布して牡蛎や貝類の付着を防止する有機スズ、非イオン界面活性剤のオクチルフェノールが下水処理場で途中まで分解されてできるノニルフェノール、フタル酸エステル類の可塑剤、ビスフェノール A などのプラスチック原材料、農薬の DDT、植物由来のホルモンでクローバに含まれるクメストロール、大豆食品に含まれるジェニスタイン、ダイゼイン等である。これらの物質が野生生物に影響を及ぼしていたり、人にも影響を与えることが明らかになってきた。今後物質数は、増加することが予想される。ここで、重要な点は、人工化学物質に加えて、植物ホルモンも問題となっていることと、人や動物が排泄する天然ホルモンも場合によって、環境汚染問題になる可能性がある。

3-1 ヒットモデルによる有害化学物質の人体影響を考える目安は？

微量な化学物質が、生物において悪影響を与えることは、毒性と認識されてきた。一般に毒性学は、毒物は生物のある受容体に作用して毒性を発揮すると認識する。内分泌物質の場合は、細胞膜に存在する膜蛋白質受容体と細胞内、あるいは核内に存在する受容体に、内分泌物質—ホルモン物質が信号伝達のようにリガンドとして結合し、その後、リガンド—受容体複合物質、あるいは別の

信号伝達物質が連動し、特定の遺伝子領域に結合して、遺伝子の発現を引き起こす。その結果、細胞—臓器に作用が現れる。このように、毒物—あるいは信号伝達物質が受容体（細胞内）に結合—ヒットすると考えられる。

ダイオキシン類の対策はピコグラム、pg と呼ぶ極少量の対策を行っているが、この極少量の意味を検討する。その場合、受容体にヒット（結合）して作用すると考え、受容体を人間細胞、ヒットを1分子の有害物質とすると、全細胞に1分子がヒットする有害物質の1日耐用摂取量はいくらになるか？（図1参照）。人の総細胞数は、60兆個である（体重50kg、身長155cm）。毎日摂取する耐用量を A モルとし、アボガドロ数 6.023×10^{23} として計算すると、 $A = 0.1 \text{ n モル}$ 或いは 100 p モル となる。この極めて少量レベルの耐用量を摂取すると、身体各細胞に1分子の物質が分配されることになる。このような目安に有害物質の有害程度を推測することができる。

3-2 ダイオキシン類の毒性レベルをどのように理解するか？

ダイオキシン類は、多面的毒性を示す極めて強力な有害物質である。生物とくに高等動物は、体を機能維持するために、神経系、免疫系、内分泌系を3角関係として連動しているが、ダイオキシン類は、これらすべてに有害な作用を起こしているようである。動物実験の結果から人への推定がなされた。有害性の評価が、一般毒性（肝臓毒性による致死）、発ガン毒性（肝細胞、甲状腺）、免疫毒性（抗体産生抑制、リンパ球変動）と生殖毒性で評価したところ、生殖毒性に与える影響が、最も低濃度で現われた。特にアカゲザルを3代にわたって実験し、子孫に外形的影響が生じるかどうかの試験を行った。

その結果 WHO は、人への推定に不確定係数10を使って、耐用1日摂取量 $1-4 \text{ pg/kg/日}$ を推薦し、日本はさらに独自の判断で 4 pg/kg/日 を決めた。この値をどのように理解すれば良いのか？ ダイオキシン類の中で最も

人の細胞総数 60 兆個

毎日摂取する有害物質 A モル/日

全細胞に1分子が1ヒットすると想定

有害物質摂取量？

$$\begin{aligned} \text{分子数/細胞数} &= 1 = A \times \text{アボガドロ数} / 6 \times 10^{13} \\ A &= 6 \times 10^{13} / 6.023 \times 10^{23} \\ &= 10^{-10} \text{モル} \end{aligned}$$

$$= 100 \text{ pモル/日・人}$$

ホルモン分子のように細胞内部の受容体と結合する場合は、このような計算が基礎となる

図1 ヒットモデルによる有害物質の人体影響を考える

強力な 2, 3, 7, 8 ダイオキシンを例にして、検討する。耐用 1 日摂取量 4 pg/kg/日 は、 1.24 fモル/kg/日 に相当し、分子量 321.9 g/モル 、日本の女性（妊娠する）平均体重 50 kg 、体重当たりの細胞数は $1.2 \times 10^{12}/\text{kg}$ とすると、女性細胞当たりのダイオキシン分子数は？
 6.2×10^{-4} となる即ち 1 細胞当たりダイオキシン分子がヒットする確率 6 万 2000 分の 1 に成る。

先ほどの計算した 100 pモル と比べれば遙かに低い値である。しかしこの数値の理解を深めると、女性が妊娠して受精細胞 1 個にダイオキシンがヒットする確率でもある。この確率が低ければそれだけ受精卵、あるいは胚細胞／胎児にダイオキシンがヒットする確率が下がり、安全性が増加する。低いヒット確率のように見えるが、さらに検討すべき点は、ダイオキシンが体内に入ってから、集中して経由する肝臓、腎臓や蓄積される生殖器、皮下脂肪など様々な部位、臓器で代謝蓄積を受けて最終的に主として糞として排泄される。このような過程を詳しくみると、ダイオキシン類が体内に蓄積し、体内の蓄積濃度を理解しないと、本当の安全性が見えてこない。

ここでは、より一般に分かりやすい説明を行う。ダイオキシン類は体内に摂取されると排泄されにくい、滞留年数が平均して 7.5 年とされている。その間人体に蓄積し少しずつ排泄されるが、一方毎日摂取することで動的バランスがとれ、バランスする蓄積濃度がきまる。このことは女性（男性もおなじ）で既に細胞にダイオキシンが蓄積していることを意味する。その安全と考えられる内部負荷量（蓄積量）は、動物実験から 86 ng/kg と推定される。このことは女性（男性もおなじ）で既に細胞にダイオキシンが蓄積していることを意味するが、そのレベルは、 $86 \times 1.86 \times 10^8 \times 10^3 / 1.2 \times 10^{12} = 1.33 \text{ 分子/細胞}$ である（図 2）。このことは、1 分子／細胞以下のレベルに低下させると、信号伝達物質の役割がなくなり安全性が向上することを意味する。この点の理解が重要である。ただし、 1.33 分子/細胞 のダイオキシンヒットの

危険性が、受精卵、胚細胞／胎児にどの程度及んでいるのか不明である。女性の排卵過程までにダイオキシン分子がどの程度卵に濃縮されるか不明である。受精後は子宮－胎盤を通じて栄養物質が供給されるが同時にダイオキシンも供給される。この事も研究が求められる分野である。

現在、性ホルモンでも女性ホルモン様の働きをして、人を含む生物に影響がでているケースが突出して見つかっている。環境ホルモンの問題が、発癌性物質と比べて難しい点は、1) 生物試験をやっても生死の判定では分からなくて、例えば生物毎に生殖器等の異常状態の判定が必要である。そのため判定が複雑、専門化している。2) ホルモンの働きをする物質の環境中濃度が、従来の生死を判定する毒性濃度や発癌リスク濃度（ともに水環境基準値として現在設定されているもの、 $\mu\text{g/L}$ のレベル）よりもさらに低い濃度（ ng/L や pg/L のレベル）である。3) 人間自身が相当量の女性、男性性ホルモンを尿排出している（ $\mu\text{g/L}$ のレベル）。4) 環境ホルモン様物質の数がかなり多数になると推定される。5) 発癌機構に比べて環境ホルモンに関する研究は大変遅れている。発癌機構には、生物種間で共通する遺伝子損傷修復機構とが理解されつつあるが、ホルモンは生物種間に多くの違いがある。例えばホルモンレセプターの構造や遺伝子結合の分子レベルで違いがある。このように環境ホルモンに関する問題は数多く存在し、研究は遅れている。

この点まで、認識が進むと、今まで常識としていたことが大きく疑われてくる。すなわち、日本の水環境関連法律で前提としている、人間の飲料水基準値イコール水環境基準値という考えが成立しなくなることである。環境ホルモン物質によっては、人間に影響を与えないで、ある種の動物にのみ影響を与える可能性がある。そうすると、下水処理水を河川、湖沼に排水することは、飲料水基準値より厳しい条件が課せられることもあり得る。

日本人が摂取するダイオキシン類の主たる経路は、魚

耐用 1 日摂取量 4 pg/kg/日 (1.24 fモル/kg/日)
 ダイオキシン—2, 3, 7, 8 TCDD 分子量 321.9 g/モル 、 $1 \text{ pg} =$
 $0.31 \times 10^{-15} \text{ モル} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ 分子}$
 女性体重 50 kg 体重当たり細胞数 $1.2 \times 10^{12}/\text{kg}$
 分子数／細胞 = $4 \times 1.86 \times 10^8 / 1.2 \times 10^{12}$
 $= 6.2 \times 10^{-4}$

1 細胞当たりダイオキシンがヒットする確率 6 万 2000 分の 1
 このことは、女性が妊娠して受精細胞 1 個にダイオキシンがヒットする確率でもある。
 ただし、内部負荷量（蓄積量）は、 86 ng/kg
 このことは女性で体重で、女性の細胞当たり蓄積程度は？
 $86 \times 1.86 \times 10^8 \times 10^3 / 1.2 \times 10^{12}$
 $= 1.33 \text{ 分子/細胞}$ である。

図 2 2, 3, 7, 8 TCDD (ダイオキシン) について

の食品であり、飲料水からの摂取は、小さい。環境基準＝飲料水の基準を 1 pg/L に設定されたが、生物濃縮の評価は、不十分である。飲料水基準より環境基準値を厳しくする必要性が出るかもしれない。従って、下水道の排水基準は、10pg/L になったが、この数値で将来とも良いのか、今後の調査研究が必要であろう。また、人間の尿から排出する、男性、女性ホルモンが、野生生物に影響を与えている疑いがある。生態系毒性の評価が益々重要になってきた。

4. 環境ホルモンによる河川の汚染

建設省が平成10年夏季、秋季に行った河川環境ホルモン調査結果が発表された。その結果によると環境ホルモンとして疑われている物質は、低濃度の汚染であることから、測定結果を検出下限値未満を ND, 検出下限値以上、定量下限値未満を tr, それ以上の濃度で検出されたものの3グループで結果をまとめている。調査した地点数と該当するグループの地点数を比でもとめる。4-n-オクチルフェノールは、定量下限値以上の該当地点はなく、検出限界値以下 (0.4%) か、殆どが検出下限値未満 (99.6%) である。4-t-オクチルフェノールも同様の傾向である。

それに対してノニルフェノールは、測定できた地点が12.5%と多い。非イオン界面活性剤として使用されるノニルフェノールエトキシレートが、分解されノニルフェノールになり河川に流出している可能性がある。またオクチルフェノールが分解されノニルフェノールになっている可能性がある。フタル酸ジ-2-エチルヘキシルは、さらに多くの地点で検出されている。プラスチック可塑剤として利用されている。アジピン酸ジ-2-エチルヘキシルの検出も高い (26.2%) この物質もプラスチック可塑剤として利用されプラスチックから溶出している。ビスフェノール A はエポキシ樹脂の原料であり、樹脂から溶出している。測定できた地点は高く23.8%である。これらの人工化学物質の汚染に対して主として人間尿由来の17β-エストラジオールは、多くの地点で測定されている (56.3%)。

5. 環境ホルモンに対する公共下水処理場の機能

我々の研究室では、酵母に人女性ホルモンレセプターを産出する遺伝子を組み込んだ生物試験法を用いた手法を開発した。この酵母法と同時に17β-エストラジオールを酵素抗体法 (ELISA 法) で測定し、酵母法との差を、人間や動物由来ではない人工化学物質、植物由来のエストロゲン様物質として評価する方法で、二つの方法を組み合わせて環境ホルモン総量 (女性ホルモン) を解析することができる。この方法で環境汚染を調査した結

果^{3,4)}、流入下水中には当然人間由来エストロゲン (17β-エストラジオール、エストロン等) が存在していて、その量は無視できない。

琵琶湖にある湖南中部浄化センター (下水処理場) の調査結果では、生下水中には、約 154 ng/L のエストロゲンがあり、最初沈殿池では当然処理できず活性汚泥処理の脱窒素反応槽で大幅な除去が見られる。最終沈殿池、塩素処理を経て放流水中には、約98%の除去率で少し残されている。琵琶湖水でも、エストロゲンが認められる。これに対して、酵素抗体法 (ELISA 法) で17β-エストラジオールを測定すると流入下水中には、約 51.6 ng/L の17β-エストラジオールが存在する。この下水処理場では人のし尿中の17β-エストラジオールが主たる発生源である。酵母法と比較するとエストロゲン全体の8-9割程度は、人間由来ではない化学物質であると推定できる。酵母法でみるエストロゲン様物質総量の除去率が良いのに比べて、17β-エストラジオールの除去率は低い。ここでは約77%の除去率である (図3)。

一方平成10年に建設省が実施した河川の環境ホルモン調査結果では、我々が調査した下水処理場を別の日に調査していることから、データの比較に完全な一致ができない。しかし、環境ホルモンとして疑われている4-t-オクチルフェノール、4-n-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、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジブチルベンジル、フタル酸ジ-n-ブチル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル、スチレンモノマーの測定結果をみると、流入水、放流水の間の減少率が、極めて高い。これらの化学物質が最初の化学構造では残らず、化学変化を受けている可能性がある。また活性汚泥微生物の細胞に吸着されて水の相から移行したことも考えられる。また、化学変化によって反って、エストロゲン活性が高まる物質に変化すかもしれない。これらの可能性は、現在のところ研究が遅れている。

一方17β-エストラジオールの減少率が88.7%である。同じ表でBODの減少率99.5%、CODの減少率95%、TOC減少率94.1%と非常に高い減少率と比較して17β-エストラジオールの減少率の低いことが確認できる。この調査対象下水処理場は、現在のところ日本で最も処理水準の高い処理場である。

他地域の一般的な下水処理場は、標準的な処理レベルであることから、BOD、CODやTOCの指標はもっと低い処理レベルである。従って環境ホルモンとして疑われている物質の除去率はもっと低くなる。例えば、建設省の調査による多摩川上流処理場の調査結果 (表1) を見ると、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、ノニルフェノール、ビスフェノール A、と17β-エストラジオールの除去率はそれぞれ、86.2%、92.5%、64.3%、60.3%であ

図3 下水処理場 (溶存態)
Yeast Screen 及び ELISA によるエストロゲン定量結果の比較

る。この中で、 17β エストラジオールの除去率が相対的に低いことが、問題となる。

様々な下水処理水中のエストロゲン活性は、平均すると、エストラジオール換算で約 10 ng/L 程度であるが、この濃度は、雄の魚類の雌化作用を引き起こす閾値的な濃度であるとの研究報告もある。我々とは別に、イギリスのブルネル大学のサンプター教授も天然の女性ホルモンの寄与が大きいと報告しており、人間由来の女性ホルモンが水質汚染の問題であるということに関しては、世界的なコンセンサスが成立しつつある。最も、イギリスの場合は、天然の女性ホルモンに加えて、避妊薬ピルの成分であるエチニルエストラジオールの寄与が無視できないようである。日本では、ピルの使用が認められ今後、ピルの排出が増加すると予想される。

ピルに限らず、あらゆる薬は何らかの薬効、すなわち生理活性を持っている。これらの物質は、服用された後、その多くは抱合体となって尿中に排泄される。しかし、抱合体は糞便中の酵素によって容易に分解されるタイプがあるため、下水管の中で元の化学構造に戻る場合がある。薬は、病人にとっては必要であるが、健康な人間には必要ない場合が多い。また人間以外の水棲生物にどのような影響を及ぼすかもまったく不明である。従って、今後このような医薬類の環境中の運命を研究する必要があるだろう。

さらに、環境ホルモンの対象を広げなければならない

分野は、日常摂取する食品である。植物ホルモンと呼ばれる大豆中のジェニスタイン、ダイゼインは女性ホルモンの役割をはたして、東洋の女性の乳がんリスクを低下するほうに効果があるようで、女性の月経周期を少し遅らせている。しかし、このことは、男子乳児が酵素の遺伝的疾患で母乳を摂取しない場合、大豆食品を食べると影響が現れる可能性があるとして、米国 EPA は警告を発している。

また、最近の健康食品ブームで、種々の食品が輸入されている。それらの中に、女性ホルモン、男性ホルモンの補助材的役割を示す食品が、多く見られる。これらを摂取したあと、これらの植物ホルモン物質は、抱合体として尿中に排出され、下水処理場、合併浄化槽、尿処理場に入る。活性汚泥等微生物による分解性については、現在未解明である。

話は少しそれるが、オリンピック競技でドوپピングを問題にしているが、この場合筋肉増強剤としての男性ホルモン使用を問題視している。競技後速やかに尿を採取し検査している。最近では、男性ホルモンを調節利用する選手は少なく、漢方薬など、生薬—植物ホルモンを利用するケースが増加している。

このようにエストラジオールなどのヒト女性ホルモンや、人間が排出する医薬品、食品中の植物ホルモンなどは、今まで汚染物質として認識されていなかった。これらが尿中の成分なので、この排出を発生源で制御するこ

表 1 環境ホルモン時間変動調査の分析結果一覧表（多摩川上流処理場）

		流 入 水					放 流 水				
		流入水量	フタル酸ジ- 2-エチル ヘキシル	ノニルフェ ノール	ビスフェ ノール A	17 β - エストラ ジオール	放流量	フタル酸ジ- 2-エチル ヘキシル	ノニルフェ ノール	ビスフェ ノール A	17 β - エストラ ジオール
			$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$		$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
10/28	10:00	36,110	16.9	3.99	0.301	0.0338	33,520	1.63	0.28	0.165	0.0068
	13:00	26,590	17.1	3.40	0.431	0.0331	24,420	0.92	0.24	0.247	0.0112
	16:00	21,310	14.9	3.80	0.441	0.0341	18,990	0.67	0.50	0.190	0.0142
	19:00	23,280	12.1	5.16	0.537	0.0336	20,460	0.71	0.25	0.180	0.0155
	22:00	27,770	11.7	4.73	0.626	0.0223	25,270	2.96	0.34	0.136	0.0108
10/29	1:00	24,340	7.0	2.62	0.406	0.0243	22,100	3.70	0.32	0.181	0.0141
	4:00	11,860	6.2	4.71	1.129	0.0223	9,610	1.78	0.31	0.162	0.0108
	7:00	11,640	6.2	4.91	0.639	0.0298	8,720	0.70	0.17	0.182	0.0168
	加重平均	182,900	12.6	4.07	0.505	0.0297	163,090	1.74	0.31	0.180	0.0118
現地コンボジット			13.7	7.10	0.451	0.0306		2.23	0.15	0.200	0.0114
室内コンボジット			11.5	6.01	0.482	0.0270		2.84	0.16	0.199	0.0104
除去率%								86.2	92.5	64.3	60.3

除去率は加重平均値を使用

とは不可能である。従って排出の後の対策が必要となる。

6. 環境ホルモン物質の対策技術

筆者はこの問題の対策方法は2種類あると考えている。一つは、尿を下水に流さずに安全処理して農地還元するやり方で、これは日本では昭和初期まで行われていた方法の改善である。最近スウェーデンでも、尿だけを集めて、農地に還元する方法が注目を集めている。この戦略の利点は、環境ホルモンなど微量汚染物質だけでなく、富栄養化の原因である窒素、リンの水環境への負荷も減らせる点にある。もう一つの戦略は、下水処理の高度化である。我々の研究では、エストラジオールの処理には、促進酸化処理法（オゾンと過酸化水素処理の併用）が有効であることがわかっている。これは、オゾンと紫外線、オゾンと過酸化水素などを組み合わせて、反応性の高いOH・ラジカルを生成して、水中の有機物を分解しようとする方法である。この処理方法はエストラジオールだけでなく、他の微量汚染物質にも有効であると考えられ、実用化に対するハードルも低いので、今後水環境汚染の低減に貢献すると考えられる。このように、特定発生源に関しては有望な対策技術が種々あるが、今後は農業排水、雨天時道路排水等の非特定発生源に対する対策技術や社会の仕組みを検討する必要がある、この

様な分野で優秀な技術が開発されることを期待している。

既に述べたが、新規化学物質対策は、製造者に大きな責任がある。日本では、財団法人化学物質安全性協会が、そのような検査機関として活動してきたが、明らかに弱点があった。今後、この協会の活動強化が求められるが、消費者、市民の側にも化学物質のハザードとリスクを評価する知識が求められる。また、その知識強化は、一国にとどまらずインターネット利用による国際的な情報交換で行われると予想される。

公共下水処理場の化学物質対策機能強化が、今後重要な課題となる。家庭で使用されている化学物質の見直しを、消費者、市民が行う一方、工場排水、病院排水、研究所排水の取り締まり強化が求められている。この活動が広まると、現在使用されている化学物質を、継続して生産使用するか？ 消費者が使用を止めることで、生産者が製造を中止するかの選択が、始まると予想される。

7. 終わりに

地球の水循環の形態を見てくると、産業革命にはじまった「化学物質文明」の付けの一つを、下水道機能が支払わなければならない構造になっていることは明らかである。現在の下水道技術は、便益追求で異常に発展して

きた「化学物質文明」と比較するとあまりにも、幼稚である。幼稚であるから流域下水道や公共下水道が不十分であるので廃止してしまい、代わって合併浄化槽で解決するという単純な発想が、まだ根深く残っているが、今まで検討してきたようにこの考えはより幼稚で危険である。水のリスク管理の視点から、流域全体の中で果たす下水道の社会基盤整備の役割を高め、合併浄化槽の機能が果たせる限界を正しく判断することが重要である。

最後に、提起しなければならない重要な課題は、平成13年4月に施行される「化学物質排出・移動登録法」—PRTR法、と下水道の関係である。そもそも有害物質の環境排出削減取り組みは、1992年リオデジャネイロの地球サミットで、まとめられた「アジェンダ21」第19章「有害物質の不法な国際取引の防止を含む有害物質の環境上適切な管理」で提起された。この動きがOECD、WHO、UNEPなどの組織が受け止め、漸く日本の通産省、環境庁が合同で立法化したものが平成13年年から施行されるPRTR（環境汚染物質排出・移動登録）法である。

PRTR法は、化学物質の管理義務を規定するだけで、排出量の規制をする法律ではないが、多くの企業、事業所がISO14000シリーズの活動と組み合わせると有害化学物質の排出を削減する自主努力とつながり、また住民が公開された情報を評価することから、今後排出削減で成果が期待されている。下水道は、企業排水を受け入れていることから、PRTR法の実行を監視する立場にある。

一方下水処理場の機能を運営することから、PRTR法の活動を補強する役割がある。この法律は、消費者、市民が有害物質の情報を知り、企業活動を評価すること

から、下水処理場にも消費者、市民の目が向けられる。その際、家庭で使用されている化学物質の見直しを、消費者、市民が行う一方、工場排水、病院排水、研究所排水の取り締まり強化が求められている。この活動が広まると、現在使用されている化学物質を、継続して生産使用するか？消費者が使用を止めることで、生産者が製造を中止するかを選択が、始まると予想される。今後、下水道管理者は下水道運営の情報を広く公開し、有害化学物質の下水道からの排出削減に取り組む必要が出てきた。

そのような取り組みは、アメリカで既に始まっている。筆者が監訳した「環境毒性削減：評価と制御」⁹⁾は、公共下水道において毒性削減手法を具体的に示していて、PRTR法より一歩進んだ取り組みとなっていることを、ここで改めて指摘しておきたい。関心のある方は、是非この本を参考にしていただきたい。

参 考 文 献

- 1) 松井三郎「人間活動がローカルな水循環に与える影響」岩波講座地球環境学「水・物質循環系の変化」、1999年
- 2) 松井三郎「きれいな川はとりもどせるか」月刊誌「科学」岩波書店 VOL. 69, 1999年
- 3) 松井三郎「酵母を用いた環境ホルモン様物質の総量測定法の開発」エヌ・ティー・エス出版「環境ホルモン汚染対策」、1999年
- 4) 松井三郎、滝上英孝「生物モニタリング技法—in vitro 法」シーエムシー出版「環境ホルモンのモニタリング技術」1999年
- 5) 松井三郎、井手慎司監訳「環境毒性削減：評価と制御」環境技術研究協会、1996年