

流域管理における水質リスクと下水道の課題

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

松井三郎

1. 微量有害物質に対する誤った認識

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。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。環境ホルモン物質を生物に極めて高濃度で暴露すれば、生物は死ぬが、低濃度では死なない。だから毒性が弱いのでいわゆる危険性の高い毒物ではない？ 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。

2. 環境ホルモン問題が提起する環境リスク

現在問題提起されている環境ホルモン物質は、船の船底に塗布して牡蠣や貝類の付着を防止する有機スズ、アルキルエトキシレート非イオン界面活性剤類が分解したオクチルフェノールとそれが下水処理場で途中で分解されてできるノニルフェノール、農薬の DDT 類、広く使用された PCB 類、植物由来のホルモンでクロールに含まれるクメストロール、大豆中のダイゼイン、ジェニステイン等である。高等な野生生物における影響は、性ホルモンの攪乱に関係して雄が雌化する問題が指摘されているが、研究が進めば、甲状腺ホルモンや他の内分泌攪乱物質全体に対する、問題提起となるであろう。人間への影響は、青年の精子数の減少が指摘されているが、確定的ではない。現在、性ホルモンでも女性ホルモン様の働きをしたり、男性ホルモンの働きを阻害して野生の高等動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難しい点は、1) 脊椎動物、非脊椎動物等の生物種によってホルモン物質に違いがある。2) 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。3) 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 のレベル、ダイオキシン類は fg/L のレベル）である。4) 人間自身が多量の女性、男性性ホルモンを排出している。5) 環境ホルモン様物質の数かなり多数になると推定される。6) 生物種によって、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。ここまで述べてくると今までの常識を疑って見る必要がある。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。生態系毒性の評価が益々重要になってきた。

3. 環境ホルモンによる河川の汚染

建設省が平成 10 年 1 1 年春に行った河川環境ホルモン調査結果が発表された。その結果汚染が進んでいる物質は、プラスチック可塑剤のフタル酸ジ-2-エチルヘキシル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル、フタル酸ジエチル等、揮発性物質としてスチレンモノマー、アルキルフェノールとして、4-*t*-オクチルフェノール、4-*t*-ブチルフェノール、4-*n*-ヘプチルフェノール、ノニルフェノール等である。芳香族として

は、ベンゾフェノン、4-ニトロトルエン、スチレン3量体、プラスチック原料としてビスフェノールA、2,4ジクロロフェノールが挙げられる。これらの物質は下水処理場で分解、吸着等の処理が行われていても下水放流水に残存していることがうかがわれるし、下水道未整備地域からの排出や、工場排水が主たる排出源と考えられるものもある。下水処理場の当然の役割として人間の尿尿を処理する事から、17β-エストラジオールが処理場に流入する。しかしながら、下水処理場の微生物による分解、吸着等の処理効率は、あまり高くなく調査した全処理場放流水で測定された。全国の下水处理の人口普及率が約50%（1997年）において、河川の汚染は、下水道を通過しない排水による場合が、依然として重要である。一方、将来下水道の普及が伸びることから、下水処理場の処理性能の向上を考える必要がある。しかし、化学物質を使用して汚染の発生源となるものに対する対策も重要となる。環境ホルモンの汚染調査で、今後益々重要となるのは、魚類など生物に異常があるかどうかの調査である。その結果によっても化学物質の対策方向がことなる。

4. 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（Takigami, 1998年）、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。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。平成10年、11年春に建設省が実施した下水道調査では、環境ホルモンとして疑われている4-tert-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。

5. PRTTR法の導入と下水道の新しい役割

「開放型循環」利用を考えると終末下水処理場は、どのような役割を果たす必要があるのか？ 終末処理場は、下水、雨水その他排水を収集する施設であると同時に、水で運ばれる様々な化学物質の収集施設である。有害微量な汚染物質（ダイオキシン、化学薬品、医薬品を含む）は、下水汚泥に濃縮され回収しているが、既に指摘したように活性汚泥に濃縮されないものは、処理水に流出している。今後化学物質にたいする環境基準が厳しくなれば、下水処理場に対応できる方策は、1）処理の高度化、2）発生源での取締の2方面対策である。発生源対策は、有害物質の使用禁止、水系排出の禁止が主たる内容である。一方環境ホルモンのように人体から排出する自然ホルモンも考える場合、環境リスク低減のため処理の高度化を進めざるを得ないであろう。

新しく施行されるPRTTR法（環境汚染物質排出・移動登録）は、企業の環境汚染物質にたいする取り組みを大きく変化させる。これに伴って大気、水、廃棄物への化学物質排出内容が推定できるようになり、下水道も対応して今まで以上の高い管理能力が要請されることになる。対象化学物質数は、第1指定種300物質、指定化学物質500-700種になる。これらの物質は、使用禁止や水系排出禁止には当面ならないものの、その排出濃度に準じ規制がかけられるものが多い。そうすると、これら物質のリスクを評価し、管理する役割が下水道に求められることになる。さらに、化学物質毎の濃度分析対応に加えてバイオアッセイを利用した、生態系毒性リスクの管理が、必要になると思われる。

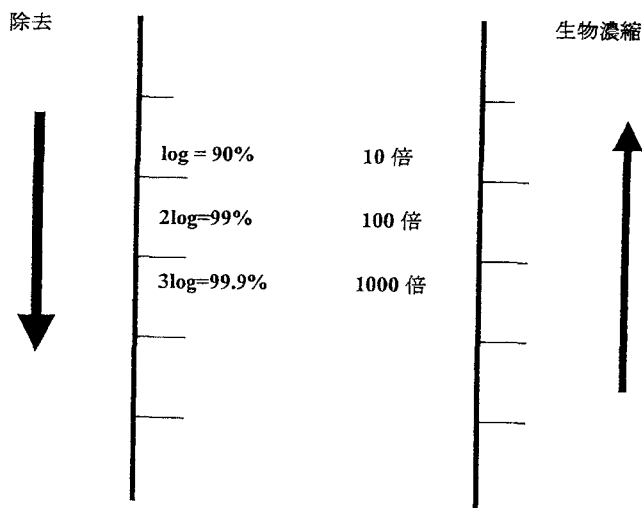
処理の高度化はそれだけ下水汚泥量が増加する。すでに環境中を移動している、例えば既存のダイオキシン類にも注意を働かせる必要がある。このように見ると、下水汚泥の処理処分には新しい確な視点を持つ必要がでてくる。すなわち、下水汚泥は、難分解微量有害物質の収集物である。我々の研究室では、汚泥中の有害物質を分析しているが、発癌性や環境ホルモンとなるナフタレン、ビフェニール、ピレン、フタル酸エステル

等多数の有害化学物質が当然の如く分析されている。下水汚泥を農業利用する場合は、ダイオキシン類はじめ有害な微量物質を、下水汚泥から抽出回収して分解し、再び環境中に放出拡散して生態系を攪乱させないことが極めて重要になる。あるいは、下水汚泥の焼却、熔融など熱分解は、これらの化学物質の最終的な破壊を行うことになり、有効である。

6. おわりに

微量な化学物質の水系汚染が人および生態系に有害なリスクを起している可能性があるなかで、「予防原則」に基づきできるだけリスクのあると判断できるものを厳しく対応する考えがアメリカEPAから出されている。その場合、技術的に対応できるリスク軽減可能性と、一方生態系で濃縮されリスクが増大する危険性のバランスのとり方に焦点が移る。その概念を図に示す。下水道は、今後、このような複雑な問題の対応を避けて通ることは出来ないと思われる。

図 水質汚染対策の効果と生態系濃縮の比較



参考文献

1. Takigami, H., Tomonari Matsuda, and Saburo Matsui "Detection of Estrogen-like Activity in Sewage Treatment Process Waters" 環境衛生工学研究 Vol. 12, No. 3, 1998年
2. 松井三郎、藪下尚智、新矢将尚、山田春美「食用油を用いた下水汚泥中に含まれる微量有害物質の抽出と除去に関する研究」下水道協会誌論文集 No17, vol34,no413,1997
3. 松井三郎「環境毒性—評価と削減」第8回日本水環境学会市民セミナー平成11年8月