

研究集会「水系環境リスクの最前線」報告書

1 開会挨拶

21世紀水倶楽部副理事長 清水 洽

暑い中、大勢の方に参加いただきましてありがとうございます。テーマはここにありますように「水系環境リスクの最前線」ということで、大変難しい内容となっております、私も不案内の分野でございます。最初と2番目の講演は、排水中の化学物質の影響評価に関するもので、これからの環境影響を考えていく上で大変重要なテーマであると思います。3番目の講演は、群馬県赤城大沼での放射性セシウムに関するもので、2年前にもこれに関する講演をいただきまして、その後の動向を紹介していただけるものと思います。本日のご講演者である国立環境研究所の中山さん、土木研究所の岡本さん、群馬県水産試験場の湯浅さんにはお忙しい中をおいでいただき誠にありがとうございます。

本日はよろしく申し上げます。

2 排水中の化学物質曝露・影響評価の動向

国立環境研究所 中山祥嗣氏

本日は米国における排水管理における化学物質曝露・影響評価の動向を紹介する。

米国の排水管理は1972年 Clean Water Act (水清浄化法) の発効以来、US EPA (環境保護庁) で一元的に行われている。EPAには約3万人の職員がおり、10の地方局で排水基準の測定監視にあたっている(図1-1)。



図 1-1

図 1-2

現行の排水基準は個別項目毎の測定と生物試験をベースとする WET 試験 (Whole Effluent Toxicity) によって監視評価されている。これらの試験結果は原則的に公開、Web で検索可能である。WET 試験は淡水の場合、コイ科の魚とミジンコによって行われる。

現行の排水管理の問題点は、一つは個別項目管理の限界であり、数万種類を超える化学物質について個別の基準値を用意することに無理があるし、測定監視はまず不可能である。

こうしたことに対応して WET が用意されているが、①手間がかかる、②一部の毒性のみ評価、③原因特定が困難、④処理対策検討が困難、という問題点が指摘されている。

そこで、複合影響が評価可能で、かつ原因特定が可能な評価法、ということで WET 試験に TIE 試験

(Toxicity Identification Evaluation、毒性特定評価)を組み合わせることが新しく研究開発されている。毒性評価(主にバイオアッセイ)と化学分析による原因物質同定が主要な方法である。

以上の方策をなお一歩進めて、従来の評価手法では評価できない影響、例えばヒトへの毒性、特に甲状腺やホルモンなど内分泌への影響評価を行うために、IEEA:統合曝露影響評価について国際的な研究協力の取組みが始められたところである(図1-2)。この取り組みのポイントは、①曝露評価、影響評価の融合、②化学と生物学の融合、③曝露と影響情報の同時取得、④処理技術開発と評価、⑤より良いリスク評価とリスク管理、という諸点である。またこれらに加えて、こうしたリスク管理をどう実現していくのかというところがある。処理技術の開発、化学物質等を生産しているメーカー側の協力、スクリーニング手法の活用などの項目が課題である。

国立環境研で取り組んでいる研究調査の一例として、甲状腺機能影響という観点から全国の河川水を調査した結果を紹介する。各種のバイオアッセイ評価手法を適用しながら河川水(排水)の甲状腺機能影響度を評価した結果、反応のあった河川が数例あった。原因物質の同定については、まだ技術開発の途上であり、今後の課題である。

以上の排水の影響評価の取組みについては、生物・化学のミクスチャー評価が必要、また、化学、生物学、工学に加えて医学、疫学の異分野統合という観点もあるのではないかと。また、こうした評価手法は世界標準化が必要で日本またはアジア発の標準化が期待されている。化学物質等の生産ステージ、より上流での管理という観点も重要で、ビジネスチャンスにも繋がると考えられる。

3 下水道へのWETの適用とその課題について

土木研究所 岡本誠一郎氏

日常生活や産業活動で使用される化学物質は増加し続けている。一方で、下水道の普及に伴い、使用・廃棄された化学物質の大部分は下水道に流入し、処理を経て公共用水域に放流される。多種類の化学物質の水生生物への影響を個別に把握するのは困難であるため、包括的に毒性を把握できるWET試験の導入が環境省等で検討され、平成25年に国立環境研究所から試験方法が公表されている。土木研究所では、WET試験の下水道への適用について検討している。

下水道へのWET試験の導入の利点は、①水生生物への影響を総合的かつ定量的に評価できること、②未規制物質や未知の毒性についても評価できること、③下水中に流入する様々な物質の複合影響を含めて評価できること、であるが、導入した場合の課題としては、①影響が確認された場合の対応方策を

下水道へのWETの適用 ~ その課題 ~

- 影響が確認された場合の対応方策は？
 - 毒性同定評価(TIE: Toxicity Identification Evaluation)が不可欠
 - 下水道管理者はその原因者にどう対処するか
 - ⇒下水道における水質規制の特性
- 下水(処理水)の水質変動や(内分泌かく乱作用などによる)慢性毒性をどう評価すればよいか
 - ⇒流水式試験による長期曝露などが必要
- 排水試験方法として導入した場合、放流先での希釈等をどう評価するか
 - ⇒現試験方法は排水中の化学物質管理の視点
 - 放流先の生態影響はどう評価？

17

活性汚泥処理実験装置

●実際の下水処理場内に設置しており、処理場への流入下水を使用した実験が可能

運転条件: 流入水量 6.8 m³/day
滞留時間 7 時間

一般水質項目: ※水質は2回目試験時(2015.1月実施)の測定結果

項目	流入下水	放流水
水温(°C)	14.2	18.9
pH	7.17	7.55
NH4-N (mg/L)	17.7	14.5
TOC (mg/L)	94.0	10.3

29

図 2-1

図 2-2

どうするのか？②下水の水質変動や慢性毒性をどう評価すれば良いか？③放流先での希釈効果をどう評価するか？ということがあげられる（図 2-1）。

影響が確認された場合には、毒性同定評価（T I E）を行い、原因者に対処する必要があるが、一般的には生物影響の原因物質が容易に特定されることは稀であり、下水道での T I E は大変な作業である。また、W E T 試験による影響評価を法令に位置付けることも難しい課題と思われる。

わが国で化学物質管理にW E T 試験が導入された場合、下水処理場も同様の対応を行う必要性が予想されることから、実処理水を用いたW E T による生物影響の実態把握と試験方法の適用検討が急務となっている（図 2-2）。土木研究所では国環研の試験法に準じた下水への生物応答試験を実施している。ゼブラフィッシュを用いた結果の一例を紹介すると、ゼブラフィッシュでは、流入下水 8 0 % の試験水ではふ化率と生存率が有意に低下したが、放流水ではふ化率・生存率とも影響が無かった。また、今回の試験では、流入水の毒性の原因物質としては、アンモニアや界面活性剤の可能性が考えられた。

今後の課題としては、①全国の下水処理水の影響評価手法構築に向けた調査・試験の積み重ね、②日本の下水道に適した T I E 手順の構築、③消毒剤等、下水処理過程で添加する物質の評価方法、④国内版の毒性削減評価（T R E）に必要な知見の収集・整理、があげられる。

4 群馬県赤城大沼における放射線セシウムの減衰過程 —原発事故から 4 年経過して—

群馬県水産試験場 湯浅 由美氏

2 年前のこの研究集会で赤城大沼のワカサギについて講演したが、2 年経過した現在の状況を報告する。淡水の水産物について、放射性物質の影響として、ワカサギは高い傾向が継続しており、原因究明が必

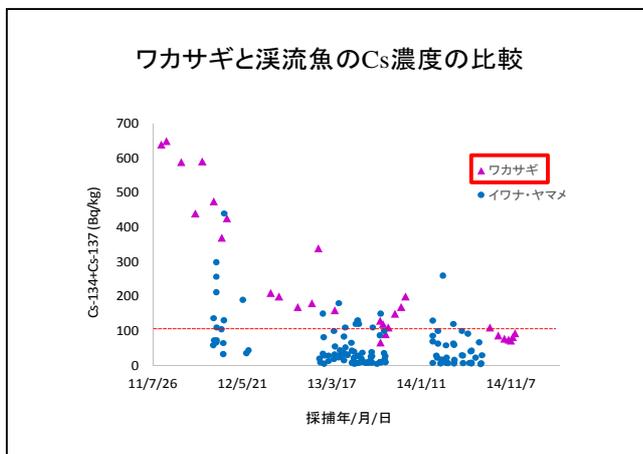


図 3-1

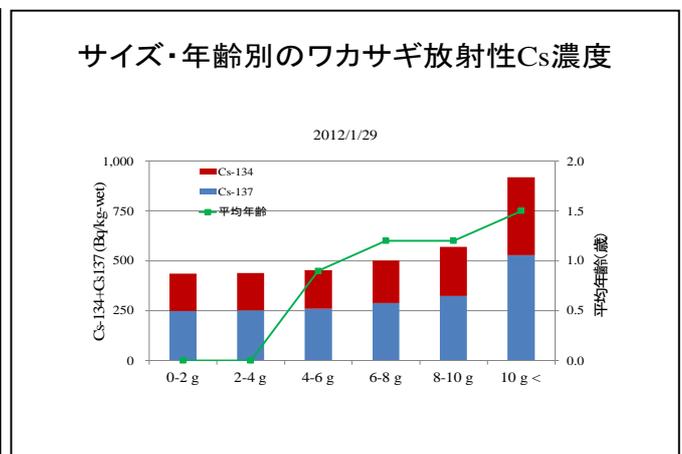


図 3-2

要である。これは赤城大沼に限ったことではなく、陸域の閉鎖性水域では同じ傾向が見られる。図 3-1 にワカサギと溪流魚の放射性セシウム（Cs-137+Cs134）濃度を比較した結果を示す。赤城大沼のワカサギは 100Bq/kg を下回ってきているが、草木湖、秋元湖、檜原湖では事故後 1 年で放射性 Cs が大幅に低下したことに比べると低下速度はやや遅い。放射性 Cs の蓄積について、海水魚は浸透圧の関係で塩類を排出する際、Cs も同時に排出するため比較的早く魚体中の濃度が低下するが、淡水魚は体内の塩分を保持しようという機能が働くため、放射性 Cs の排出がし難いと考えられる。

赤城大沼はカルデラ湖で流入水量が少ないため、湖水が入れ替わるのに 2.3 年を要する湖である。ここ

に生息するワカサギのサイズ・年齢別の体内放射性 Cs 濃度を調べた。その結果を図 3-2 に示す。サイズが大きいくほど Cs 濃度が高い傾向がみられた。湖内のセストンの Cs-137 濃度の推移も調べた。その結果、動物性プランクトンより植物性プランクトンの方が Cs-137 濃度の高い傾向がみられた。さらに、動物性プランクトンの生態学的半減期は、ワカサギと同程度と推定された。図 3-3 には、湖心底質、プランクトンおよび魚類に含まれる Cs-137 のフラクション割合の比較を示す。湖心底質は、F5（ケイ酸塩岩石などの結晶中に存在する形態で、難溶態）が 9 割である。植物プランクトンは 5.5 割が難溶態である。動物プランクトンと魚類は、F1、F2 の可溶態が 9 割になっている。動物プランクトンの難溶態が魚類と比べ高い原因として、餌となる珪藻に難溶態 Cs-137 が付着していることが推察される。

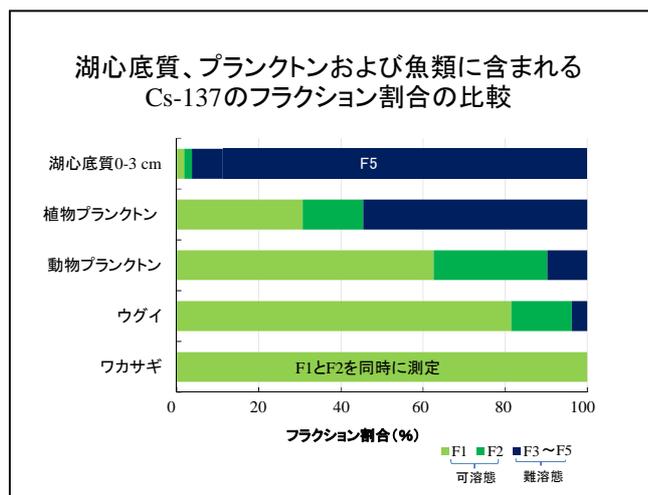


図 3-3

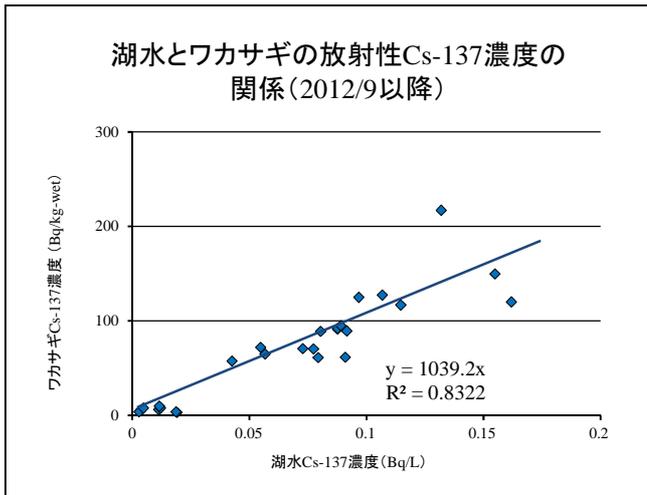


図 3-4

図 3-4 は、湖水とワカサギの Cs-137 濃度の関係(2012/9 以降)を示している。湖水とワカサギの Cs-137 濃度には、高い相関関係が見られた。

最後に、今後の課題の課題として以下の 3 つがあげられる。

- ・ 無酸素（夏・冬の成層期）などの条件では、バクテリアの分解による沈殿物からの Cs 再溶出が起きていると考えられるため、量の把握を含めた調査が必要である。
- ・ 植物プランクトンの Cs-137 濃度が動物性プランクトンのものより高い傾向であるが、食物連鎖と逆の現象が生じているため、原因究明が求められる。
- ・ 植物プランクトン（優先種の珪藻）のどこに難溶態 Cs-137 が付着しているかの解明が必要である。

5 総合討論

(1) 中山さんに質問します。甲状腺機能バイオアッセイの影響評価例で、川での調査結果がありました。その中にはかなり大きな値が検出されたところもありましたが、その値は人の甲状腺被害をもたらすようなレベルなのでしょうか。

(中山氏) 直接被害のあるレベルかどうか決めがたいですが、薬の有効濃度を考えると、一番高い値のレベルは甲状腺機能の抑制効果が現れる値に近づいている可能性があります。このバイオアッセイはレセプターに対する反応を示しているのですが、甲状腺にはいろいろな機能があるので、本当に影響がでるかどうかは不明です。

(2) 岡本さんにお聞きします。昭和 39 年頃に洗剤中の界面活性剤 ABS が大きな社会問題となり、分解実験等の調査が盛んにおこなわれました。それ以降も下水道と洗剤の関係ではいろいろな問題が発生しましたが、解決されてきました。それは洗剤工業会という団体が問題解決に努力してきたからですが、WET で洗剤中の LAS が問題であれば、工業会と相談されたら良いのではないかとおと思いますが、いかがでしょうか。

(岡本氏) 現在も工業会とは意見交換等を盛んに行っています。これまでに界面活性剤やリンの問題が発生してきましたが、除去という面では OD 法や標準活性汚泥法で下水処理しているところは、ほとんど問題ないレベルまで処理されています。しかし、生物との接触時間が短い接触酸化法の場合には、除去率が低下する傾向が見られます。また、時間変動が大きい小規模処理場の場合には、十分な処理ができなくなる傾向も見られます。こうした場合に、基準値は最大値で見るとすべきなのかどうかという難しい問題があります。浄化槽のような場合、管理が不十分なことも多いのですが、家庭排水を水質規制の対象にするのかという難しい問題もあります。

(3) 中山さんにお聞きします。WET のような方法で全体的な毒性評価を行い、そこで問題があれば TIE で毒性物質の特定を行うというのが米国の流れのようですが、TIE データは米国では公表されているのですか。毒性物質が特定されると、さらに、IEEA 統合曝露影響評価へと進んでいくというスキームのようですが、IEEA で評価されると、その先はどうなるのでしょうか。

(中山氏) 現在、米国では TIE データは公表されていません。TIE や IEEA はまだ研究開発段階にあるといえます。今の処理法では処理できない毒性物質や希釈によって除去特性が変わる物質など様々な報告がなされており、IEEA の先の処理法の開発も追いついていないのです。WET についても、藻類、プランクトン、魚では対象が限られており、試験法の開発がさらに進められています。WET や IEEA で影響評価がなされて、原因物質が特定されると、その処理技術の開発へと進んでいくのですが、処理技術の開発が大きな課題です。

また、環境試料を直接バイオアッセイにかける際の技術開発も進行中で、環境水をフリーズドライしたり、試験試薬をフリーズドライしたりと工夫を行っていますが、確定的な手法はまだ開発されていません。例えば、環境試料をフリーズドライした場合、温度調整を誤ると硫酸が発生し pH が著しく低下する事例も確認されています。このように、IEEA は試料処理、分析、影響試験などにかかる技術開発が必要で、今後の研究者の交流や行政との協力が必要です。

(4) 米国以外で WET の導入状況はどうなっているのでしょうか。

(岡本氏) 私が国環研の方から聞いている情報では、2006 年に韓国がミジンコだけを使った方法で導入しているようです。フランスでは下水処理水を対象に導入しているようです。

(中山氏) フランスでは慢性影響評価を行うための研究が進められていて、例えば、緑色発色遺伝子を組み込んだオタマジャクシを用いた、甲状腺影響の評価システムの開発が行われています（フログ・イン・ザ・ボックス）。ヨーロッパでは試験的にいくつかの国で導入されているようです。

(5) WET 試験に要する費用や今後の市場性についてお聞きしたい。また、日本での導入のロードマップについてもお聞きしたい。

(岡本氏) 環境省で検討会を設置し長年検討してきており、国環研でもセミナーを開催しています。昨年の夏に環境省では WET の導入を断念したという報道もあったが、その時点で断念したとは聞いていません。試験法や評価が従来にない方法であり、その概念を法令化するのが難しいようです。

試験の立ち上げには相当の投資が必要であり、試験自体にも熟練を要すること、試験できる機関が少ない等の課題もあるようです。

(6) 日本では環境問題が起きて、それが社会的な騒ぎにならないと、環境の話題が大きく取り上げられることがないのではないかと。

(岡本氏) 水環境中の生態影響については、問題があるのかないのかはっきりとしないところが問題とします。現在のところ直接的な影響は顕在化していないが、将来も含めた長期的な影響があるかはわからない。WET 試験では、慢性的な影響までの確にとらえることは困難だが、生物影響の把握の第一歩として WET が検討されているのではないかと考えています。

(中山氏) 環境のことでないが 1 つの例として、今の子供は精神発達が遅れているのが明らかになっているが、評価法も定まっていない。このため、社会的な問題として顕在化していないが、大きな問題になってくると考えられる。評価法を明らかにしてそれを発信していくことが大事ではないかと考えている。

これは個人的な意見であるが、欧米では新しい評価方法が新しいビジネスに結び付くと考えているからいろいろ検討が続けられている面があると思う。韓国がいち早く WET を導入したのは、より上流側での規制がビジネスになると考えたのではないかと。

(コメント) 福島原発事故でいろいろな報告書が出ている。それを読むと日本では原発の安全神話に加えて、小さな安全対策は一杯やってきたが、大きな安全対策が抜けていたのではないかと指摘があった。排水規制についても、個々の物質の規制から総合的な影響評価が重要になってくるのではないかと。

(7) ミジンコやメダカで試験を行っているが、以前に水族館で飼育していたマグロが全滅したという記事があったが、下水処理水でもそうしたことが起こりうるのか。バイオアッセイという試験が世に出て 50 年位になると思うが、未だにそれが普及した、あるいはビジネスになっているという話は聞かない。今後、WET はビジネスと結びついていくのか。

(中山氏) ビジネスという面では、なっている部分となっていない部分がある。例えば、オランダではバイオアッセイ用の細胞株が販売されており、それが OECD に登録されている。ヨーロッパへ食品輸出する場合には、それを用いて REACH 規制に適合する試験を行い、安全が確認されたものしか輸出できない。ヨーロッパでは、市民の意向に沿ったビジネスが展開されていく傾向がある。例えば、Merk という製薬会社は、市民が動物実験を嫌う、あるいは動物保護という観点から動物実験を止めることにした。

個人的な意見ですが日本人は過敏に反応しすぎる面があると思う。放射能の食品安全レベルが 100Bq/kg となっていますが、一律に 100Bq/kg と決め付けるのはいかがかと思う。欧米では 1000Bq/kg というのが妥当な値とされています。これは放射能に関する正確な情報が市民に伝わっていないことが考えられ、これからは冷静な判断に役立つ正確な情報の発信が重要ではないかと思えます。

(8) 赤城大沼のワカサギについて質問します。ワカサギの放射能レベルが 100Bq/kg 以下になったものの、さらになかなか下がらないという報告がありました。それではワカサギを毎年取り尽していけば、もっと早く 100Bq/kg 以下に下がるのではないかと思います。そうした案は検討されたのでしょうか。

また、人為的な化学物質について、例えば、フロンガスなどは毒性がなく便利だということで大量に使われましたが、それが後になって大問題になりました。安全な化学物質だけを世に送り出すようなシステムはないのでしょうか。

(湯浅) そうした案も内部では検討しました。しかし、捕獲するワカサギ全体が持っている放射性物質総量は、赤城大沼に蓄積している放射性物質総量の1%に満たないと見積もられ除染効率が非常に低いことから、その案は採用されませんでした。やはり、赤城大沼の放射性物質が低下していかないと、全体の環境改善に結びついていかないのかなと考えています。

(岡本) 日本ではPRTRという法律があり、それに基づいて市場に流通している化学物質の届出が行われています。工場排水については、それらの物質の排水中の濃度や下水道にどれだけ流入するか予測やリスク評価もある程度可能です。しかし、最近の傾向として、下水処理水中に検出される化学物質としてリスク上位にランクされるのは、コンパクト洗剤に入っているAE(アルコールエトキシレート)、美白剤に入っているヒドロキノンなど家庭用品に入っているものです。家庭用品には重金属が入っているものもあります。下水道で除去できる物質とできない物質を分けて規制していくことが必要です。さらに、全体的なリスク評価も重要になっていると考えています。

(中山) 下水道料金というのは水道料金からほとんど決まっているというように聞いていますが、費用の積み上げ方式で料金算出するのが本来の姿です。また、環境リスクのシンポジウムを開催すると、米国では工業会の方も含めていろいろな人が集まり意見交換できますが、日本では限られた研究者が集まり議論するというようになっています。全体的な意見集約という観点からは、幅広い分野の参加を得て議論する場が必要ではないでしょうか。

(9) WET試験は大変そうですが、WET試験で全体的な評価をおこない、個々の化学物質の測定を軽減するというような方向はあるのでしょうか。また、今後、WET試験の導入は進んでいくか教えてほしい。

(岡本) 生活排水を中心に考えると、WETの結果と水質との関係はある程度見えてきている。しかし、IEEAの方向に進むためにはまだ大きなハードルがあると思います。

(まとめ) 安全性の問題についてはなかなか結論めいたことは言えませんが、これまで新幹線は安全だと思われていたのが、先日のような事件が起きると安全とは何か改めて考えさせられます。日本独自の安全神話、あるいは、日本でしか通用しない安全ということもあるのではないかと思いますので、さらに水系環境リスクの問題を考えていきたいと思います。