

有害物質対策と課題

Toxic Substance Measures and Problem



森田昌敏
Masatoshi Morita

愛媛大学
農学部
環境先端技術センター
教授
工学博士



橋本有泰*
Nariyasu Hashimoto
環境計量士



石田典子**
Noriko Ishida
環境計量士

有害物質汚染は現代においても深刻な問題である。時代とともに種々の化学物質の有害性が発見され、その対策が講じられている。今回、森田昌敏先生を技術研究所へお迎えし、有害物質汚染問題の時代の流れ、有害汚染物質の規制と対策、PCB問題、分析精度管理の問題についてご講演を頂いた。

Toxic substance pollution is one of the serious problem in the present age. The hazardousness of various kinds of chemical substances has been discovered with the progress of the times, and their measures are being taken. We invited Mr. Masatoshi Morita of Ehime University to our technical research center this time and had a lecture about the trend on the issue of toxic substance pollution, the regulation and the measures of many harmful pollutants, including PCB and new pollutants, and an issue on the management for the analysis precision.

まえがき

愛媛大学 農学部 環境先端技術センターの森田昌敏教授を技術研究所へお迎えし、ご講演頂いた。森田先生は国立環境研究所から現在の愛媛大学へ移られ、日本環境化学会 会長、日本内分泌攪乱化学物質学会 会長も兼任されている。また、分析精度管理が分析事業者等とは独立して機能すべき重要な項目であることから、分析値の品質を外部より監視する役割として2010年4月にNPO法人 環境測定品質管理センターを設立し理事長に就任され、分析分野においてご尽力されている。今回は「有害物質対策と課題」という題目でご講演を頂いた。本稿はそのご講演内容の抄録である。

1. 有害物質汚染問題のトレンド

- ・ 図1のように化学物質の種類は非常に多く、中には毒性が十分理解されないまま利用され続ける物質もある。
- ・ 有害物質問題の第一次ブームは1970年代前半に起こり、その時に水質汚濁防止法、大気汚染防止

<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学産業や実験室で作られる合成化学物質 ・ 天然化学物質 ・ 非意図的生成化学物質(自動車、ゴミ焼却など) (毎年150万種ずつ増加中) 	} 合計300万種類以上
<ul style="list-style-type: none"> ・ 商業的に利用されている化学物質の数 約10万種類 (新規化学物質登録数増加 1500種/年) 	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 法的規制下にある化学物質数 <ul style="list-style-type: none"> ・ 劇毒法 約1500種 ・ 水質汚濁防止法 46項目/(300種 要調査項目) ・ 大気汚染防止法 22項目/(243種 優先取組物質) ・ 労働安全衛生法 約300種 ・ 農薬取締法 約200種 ・ 食の安全関連の農薬 約1000種 	

図1 化学物質の発生源と種類の数

法、廃掃法等の色々な法律が作られ大きな変化が起きた。ただこの時に解決出来ていなかった一番大きな問題が発がん性への対応で、1990年代に実を結ぶこととなる(図2)。

- ・ 第二次ブームは1990年代から2000年初めに起き、種々の法律が改正されたが一方、解決されていな

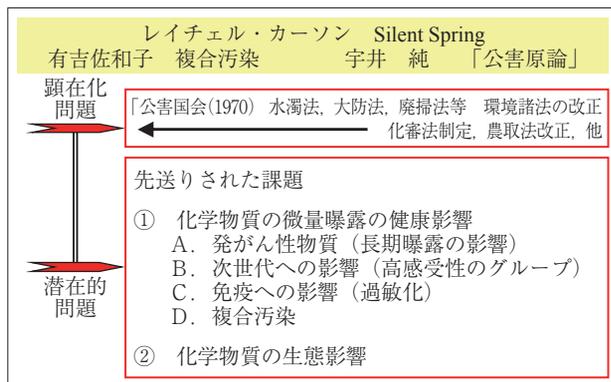


図2 1970年前半 第一次有害化学物質問題ブーム

1. 難燃剤臭素化ビフェニルエーテルの体内蓄積
甲状腺ホルモン低下
2. フッ素系化合物 (PFOS, PFOA) の環境汚染と体内蓄積
EPA デュポン社に200億円の罰金
3. 身近な汚染物質とその影響
ビスフェノール A, フタル酸エステル類
小児ぜんそくやアトピーと関係?
4. ジフェニルヒ素化合物
神経毒性

図5 内分泌攪乱物質の最近の話題の例

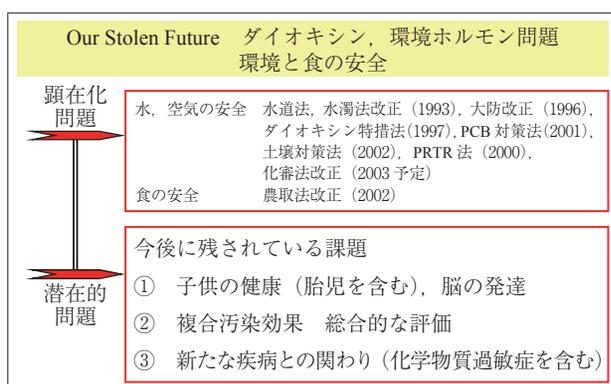


図3 1990年代から2000年初
第二次有害化学物質問題ブーム

リスク要因	推定生涯発がんリスク (一般環境曝露)
ダイオキシン	2×10^{-4} (EPA)
ディーゼル排ガス	1×10^{-4}
大気中ベンゼン	5×10^{-6}
水道水中トリハロメタン	30×10^{-6}
アスベスト	5×10^{-6}

本推定は極めて“おおざっぱ”であることに注意

図6 発がん物質等のリスク比較

1. 化学物質は製造, 消費を経て, 最終的に環境に入る。
2. たとえば河川水には, 農業地域から農薬が, 工場から各種の化学物質が, 下水処理工場から人からの排泄物と家庭で用いられる各種化学物質が含まれてくる。大気も, 食品も多くの規制値以下の汚染物質を含み, 結果として人はそれらを体内に取り込んでいる。
3. 個々の化学物質が許容されるレベルであっても, 全体として安全性が確保されているのであろうか? 生活者の視点からの評価が必要。

図4 複合効果—環境化学物質問題の最大の課題の一つ

い問題が表面化し始める。現状の重要な課題として, 複合汚染効果の問題, 環境ホルモンの問題, 化学物質の野生生物への影響がある (図3)。

- ・複合汚染については, 排出される単一物質の規制は可能であるが, 環境中へ排出された個々の規制値以下である化学物質が混ざり合った後に生じる

複合効果が問題であることは確かである。しかしそれを規制する仕組みを作ることが非常に困難であり, 規制する法律がないのが現状である (図4)。

- ・環境ホルモンについて日本では下火になっているが, 欧州ではすでに一部に規制が入り始めている。たとえば, ふっ素系のパーフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) がストックホルム条約 (POPs条約) へ追加され, それ以外にもフタル酸エステル類をどうするのかも議題となっている (図5)。
- ・発がん性についてはがん死亡者数の増加もあり問題提起されやすい。ダイオキシンに関し EPA*では依然として発がん性物質として取り扱っており, ダイオキシンが環境から受ける最大のリスクと警告している。ディーゼル排ガスによるリスクも比較的大きい。図6に発がん性物質のリスクを比較したものを示す。さまざまな発がん性物質が評価され, その死亡への影響が推定されている。
- ・不妊の原因の1つとして有害物質が指摘され, 職業により比較的明確なケースがあり, 不妊に化学

物質が関与している可能性もある（図7）。

- ・ダイオキシンは油に溶解しやすいため母乳を通じて母親から子供へ移動する。母乳で母親の体内にある1/3のダイオキシンが子供に移動し、体重が軽い子供ではダイオキシンの体内濃度が母親の3～5倍にも達する。日本のダイオキシン規制は90%以上の排出量削減に成功し一応の成果を得た。しかし、欧州は食品中のダイオキシン濃度規制を実施したが、日本ではまだ行われていない。次は第三次の削減計画の場で真剣に考えなければならない。米国ではオバマ政権になりリスク評価と土壌基準の見直しを行っている。リスク評価については次世代への影響を大きく見るのか、発がん性のリスクをどのように評価するかが見直しのポイントである。土壌基準についてはすでに修復した土地を新しい基準で再度修復するののかという問題があるが、EPAとしてはすでに修復した土地は新しい基準で修復する必要がないというダブルスタンダードで検討を始めている（図8）。
- ・神経毒性では農薬がとくに問題である。たとえ

ば、ネオニコチノイド系農薬が水田で多用されており、ラット実験では問題がないことを確認されているが、はたして本当に人体へは影響がないのかという問題がある。ネオニコチノイド系農薬がみつばち減少の原因の1つとしてあげられているからである（図9）。

みつばちの激減が欧州、米国で報告されており、受粉減少が生態系の崩壊につながっている。そのようななか、いち早く対応したのがフランスであり、2006年に最高裁でネオニコチノイド系農薬使用禁止の判決が下された。日本では岩手県の養蜂組合が訴訟を起こし和解に至っている。

2. 有害汚染物質の規制と対策

- ・有害化学物質関連の法律は多数あるものの管轄省庁も複数にわたり、統合的には考えられていない（図10）。
- ・有害大気汚染物質として約300の物質があり、優先取組物質について環境調査を実施し、規制が必要との結論に至れば、環境基準項目へ追加される。この仕組みは1996年にできたものであり、母

1. 生殖器官への毒性
→ 卵巣・精巣
2. 現代社会における不妊の拡大、増加する
子宮内膜症、若者の精子濃度低下
→ 原因の一部に化学物質の可能性
3. 職業病としての不妊症、精子減少症
4. 奇形の問題

図7 生殖毒性

1. 中枢神経、脳、末梢神経系
→ 多様な毒性
2. 殺虫剤の作用機序の多くは神経伝達の阻害
→ サリンもこの仲間
3. 脳の高次機能への影響
→ アルツハイマー（?）
4. 次世代の知能発達の問題
→ 学習障害、注意散漫多動性症候群

図9 神経毒性

- ・我が国のダイオキシン対策は一応の成果90%以上の排出削減に成功？
- ・第三次削減計画をどうするか？という局面
- ・米国ではオバマ政権になり、リスク評価の見直し、土壌基準の見直し、スーパーファンド法の新しい展開？

図8 ダイオキシンその後

法律名	所轄官庁	特質
劇毒物	厚労省	流通段階でのコントロール
労働安全衛生法	厚労省	労働環境。主として吸入曝露
食品衛生法	厚労省	食品中の労働有害物質規制
水道法	厚労省	水道中の有害物質規制
農薬取締法	農水省/環境省	農薬の安全性、生態系を含む
化学物質審査規正法	経産省/環境省/厚労省	一般化学物質製造・流通規制
化学兵器法	経産省	化学兵器およびその原料の規制
水質汚濁防止法	環境省	公共用水域の保全、地下水を含む
大気汚染防止法	環境省	大気質の保全
廃棄物清掃法	環境省	廃棄物の管理
土壌汚染対策法	環境省	土壌汚染の防止の修復
ダイオキシン特別措置法	環境省	ダイオキシン対策
PCB対策法	環境省	PCB処理
PRTR法	環境省/経産省	化学物質の登録

図10 有害化学物質関連の法律とその特性

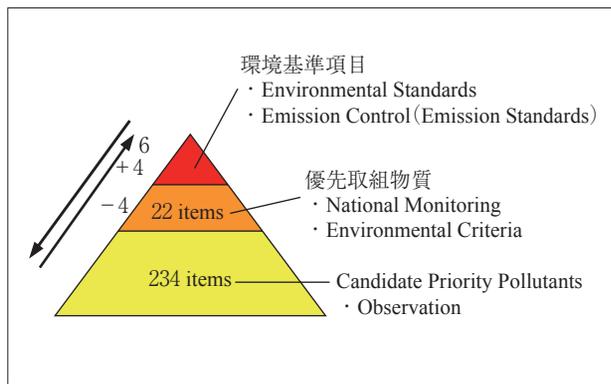


図11 有害大気汚染物質の規制と調査

- ・要監視項目から基準項目への引き上げ（健康項目）ジオキサン、PFOS？
- ・地下水の環境基準設定への取り組み（健康項目）環境中で分解・副生し、地下水汚染を引き起こす有害物質。例えば、トリクレンから塩ビモノマーの副生など。
- ・野生生物保護のための水環境基準（生活環境項目）

図14 水環境基準の新たな展開

- アスベスト
- ・1970年代まで多用。
 - ・発がん性が疑われ⇒ 労安法特定物質へ
⇒ 生産縮小から生産企業倒産
 - ・悪性中皮腫の増加，労働衛生規制，特定監視廃棄物
 - ・処理が難航，アスベストを含むスレートなどとくに，処理施設に大臣認定

図12 有害物質いくつかの例

1. 有害物質の経口摂取予防や地下水の汚染に対応して、重金属や発がん性物質について環境基準が定められている。
2. 土壌汚染対策法では、土壌汚染の除去は、土地所有者の責任でやることになっている。
3. 汚染修復費用が高いこと、および土地価格の下落に伴って、そのまま“塩漬け”となった土地（ブラウンフィールド）が散見される。
4. 修復関連事業は停滞気味

図15 土壌の汚染

- ・新たな環境基準や排水基準の設定および排水基準 (Zn 2 ppm)
- ・農薬の生態リスク評価
⇒環境予測度とは別に，環境実測濃度が必要
- ・医薬品，動物医薬品の環境リスク
⇒環境データの集積が必要

図13 生態系保全に向けた有害化学物質対策の強化

集団の見直しなどが必要な時期にきている（図11）。

大気汚染規制項目の追加の方向として、PM2.5**を環境基準として新たに設定することが決定された。

- ・有害物質問題の例としてはアスベストがあげられる。
飛散型アスベストの処理問題については、費用を

かけてでも完全に処理しないといけない問題である。アスベストを含有するスレート（特別管理産業廃棄物）の量が現在でも正確に把握できておらず不明で、一説では1億tともいわれている。仮に10万円/tとすると10兆円もの処理費となり費用負担が大きな問題である（図12）。

- ・水質汚染に関しては生態系保全に向けた有害化学物質対策の強化として、亜鉛の排水基準が改正された。（2 ppm）水環境基準の新たな展開としてジオキサンが制定され、また今後PFOSや界面活性剤をどのように取扱うのか検討を進める必要がある。（図13, 14）。
- ・土壌汚染に関しては土地価格の下落により修復可能な場所が限定されている。汚染修復費用が高いこと、また一方では土地価格の下落、この2点のバランス悪化によりそのまま塩漬けとなるケースが生じており、修復関連事業は停滞気味である（図15）。
- ・廃棄物については完全な処理を行うと費用が膨大になるという問題があり、規制や処理動向に影響

をおよぼしている。たとえば、ほう素は排水基準があるが、良い処理技術がない。石炭灰から溶出する水の中のほう素は基準を超えた高濃度であり、完全な処理を行うと大変な処理費用になる。(図16)。

- ・化学物質規制の国際動向として、国際条約群がある。バーゼル条約、ロッテルダム条約、ロンドン条約が徐々に効果を発揮してきており、ストック

1. 有害廃棄物の発生
 - ・有毒物質
 - ・感染性廃棄物
2. 中間処理に関わる有害物質の排出
 - ・杉並病
3. ゴミ焼却に関わる有害物質の排出
 - ・ダイオキシン, 水銀
4. 最終処分場(埋立地)からの有害物質の漏出

図16 廃棄物に関わる環境リスク

ホルム条約で POPs の規制が始まっている。ストックホルム条約は国際条約のため参加国の合意が必要であることから、第一次は誰もが同意する有機塩素系に絞って、合意を得られるように進め、第二次あたりから POFS, 臭素系難燃剤等の新規物質を規制対象に入れてきている(図17)。

- ・環境汚染物質と貿易戦争は図18のように昔から起きている。近年では EU で ROHS ができあがり、これがやがて戦略的に EU の環境産業政策というかたちで REACH として実を結んでいる。米国では TSCA という法律があり、日本の化審法に近い古い法律のため、新しい方向へと動き始めている。EPA は2008年3月に化学物質アセスメント管理計画 (ChAMP) を公表している(図19)。

3. PCB の物語

- ・PCB は夢の化学物質といわれ、日本では三菱モンサントが製造を計画していたが大量生産が始まる前にカネミ油症が問題となった。実際に使用された PCB はほとんどが輸入品で、日本では処理されず保管し続けられた(図20)。

- ・バーゼル条約：有害廃棄物越境移動禁止／バマコ条約
- ・ロッテルダム条約：PIC 条約→39物質
- ・ロンドン条約：海洋投入禁止
- ・ストックホルム条約：POPs
- ・化学兵器禁止条約：CWC

図17 国際条約群

- 製造前届出 (PNN), インベトリー作成, 上市後の規制
- ポリマーは一定の要件を満たせば PNN 不要
- ナノマテリアルは特段の項目はない
- 高生産量化学物質 (450 t/y) は HPV チャレンジプログラム実行中
- 2008年3月 化学物質アセスメント管理計画 (ChAMP) を公表
- TSCA インベトリーのリセント

図19 米国 TSCA (1976年成立)―EPA

1. 農業戦争
 - 米豪牛肉戦争 (農薬デイルドリン)
 - ベルギー鶏肉事件 (ダイオキシン)
 - EU 食品規格 (ダイオキシン, カドミウム…)
2. 電気製品
 - ソニープレステーション輸入禁止 (欧州)
 - EU の ROHS
3. 自動車
 - EU の鉛含有量低減
 - ディーゼル排出ナノ粒子規制 (?)
4. REACH

図18 環境汚染物質と貿易戦争



無色液体 (わずかな臭気)

- ・1881年にドイツではじめて合成
- ・1929年 工業生産開始 (米国スワン社)
- ・1954年 国内生産開始 (鐘淵化学高砂)
 - 優れた物性, 低毒性, 広がる用途
- ・1968年 カネミ油症
- ・1970年頃 環境汚染の広がり
- ・1973年 化審法特定化学物質へ
- ・2000年～ 国際的規制へ, 保管 PCB の処理へ

図20 PCB の物語

1. PCB 原体処理
JESCO および企業内自家処理
(化学処理が中心)
2. 低濃度 PCB 問題
特管物指定を受ける (0.5 ppm 以上)
油を含む物はきわめて数多い
3. 土壌、低質への残留

図21 PCB の処理の問題

- ・従来の公定法は厚生省告示192号別表2に示されている高分解能 GC/MS 法で、分析料金が大きく、分析に時間を要する。
- ・このため、迅速安価な簡易測定法の導入。スクリーニング的な迅速判定法と、簡易な定量法の二本立てで実現。
- ・簡易定量法として現時点で5(+1)つの方法が通達されて、7月1日より、有効化。また、それまでに、いくつかの迅速判定法や簡易定量法が追加される予定。

図24 低濃度 PCB 汚染油の分析法

- ・PCBの総量はすくなく、そのリスクは小さいが、油の量、それを含む電気機器の量は膨大
- ・低コストの処理が必要
- ・安価、迅速な分析法、安全でかつ安価な解体、運搬のシステム、安全、安心、安価、そして完全な分解法、そして資源リサイクル

図22 低濃度 PCB 汚染絶縁油の問題

- ・その数
柱状トランス
コンデンサー
安定器
通信ケーブル
その他
} で潜在的には2000万個に達する可能性
- ・処理法
 - ・トランスなどは抜油後、油や紙木は焼却、鉄・銅などは回収
 - ・安定器などはそのまま焼却

図23 低濃度 PCB 汚染の可能性のある廃電気機器

ている化学法で処理した場合、7兆円近い処理費となり非現実的である。現実には処理を行うためにはもっと安価に処理を行う必要がある。そのために必要なものは安価な処理技術と、迅速かつ安価な分析技術である。低濃度 PCB 汚染の可能性のある機器は経団連の試算によると約2000万個に達する可能性がある。処理としては、油・紙・木は焼却、金属類はリサイクル、安定器は分解困難なため焼却の方向で考えられている。しかし、油に関しては汚染油を再生し再び利用する技術も現在研究開発中である (図22, 23)。

- ・低濃度 PCB 汚染油の分析法として従来の公定法では時間を要し、費用も高価であることから、簡易測定法が導入され、絶縁油中の微量 PCB に関する簡易測定法マニュアルとして環境省から公表された。2010年6月に第2版が公表され環境省の web site よりダウンロード可能である (<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12664>) (図24)。しかしながら、分析のマーケットはまだできておらず、その最大の原因は処理ビジネスが立ち上がっていないことである。大臣認定の第1号は愛媛県の新居浜にある県の産業廃棄物焼却施設である。低濃度 PCB で汚染されている可能性がある疑わしき絶縁油を保管している企業等は、処理の出口体制が確立してから分析を実施しようと考えていることもあり、分析が遅れている状況である。

4. 分析機器と分析精度管理の問題

- ・日本では1988年に鐘淵化学工業が保管していた PCB のみを焼却処理したが、その後は周辺住民の同意を得ることができず以降の PCB 処理は進まなかった。その後、認可された化学処理法により国策企業である日本環境安全事業(株) (JESCO) もしくは企業内自家処理で実施することとなった (図21)。
- ・次なる問題としては大量に存在する低濃度 PCB (特別管理産業廃棄物) であり、JESCO で処理し

- ・廃棄物の処理および清掃に関する法律では汚染物質で問題が生じた場合、排出者の責任となっており、分析の精度は非常に重要である。分析では、分析精度管理が分析事業者等とは独立して機能すべき重要な項目であることから分析の品質を外部より監視する役割として2010年4月にNPO法人

1. 内部精度管理
 - ▶ 技術者の教育, 訓練, モチベーション
 - ▶ 管理システムの構築
 - ・分析管理者と分析技術者の担当の独立
 - ▶ 技術の管理, 日常的管理
 - ・GLP
 - ・標準物質, 標準試料, SOP等の活用
2. 外部精度管理
 - ▶ 分析機関および分析技術の評価と認証
 - ▶ ラウンドロビンテストや分析機関間のインターキャリブレーション

図25 精度管理

1. 分析精度管理は、有価物の商取引において、極めて重要であった。(特に金属をはじめとする資源物質) このため技術の高い分析者は優遇されていたが、分析機器の高度化/自動化によって“専門の技”をある程度補えるようになってきた。
 2. 環境分析は国民にとっては重要であるが、企業にとってはそれ自体富を生みださず、正確さよりコストを優先しやすい。
 3. 入札等で、分析精度が評価されないまま、価格の低下が進み、“悪かろう安かろう”の分析が横行し始め、また“データのねつ造”も“うわざ”されるようになってきている。
- ↓
- 精度管理の必要性, 環境測定
品質管理センター設立

図26 何故、今、精度管理か？

環境測定品質管理センターを設立し、データの信頼を高めるべく尽力している (図25, 26)。

むすび

有害物質汚染問題の現状を踏まえ、その規制および対策における最新の情報を紹介して頂いた。また、これら有害物質汚染問題に伴い、分析精度管理技術の重要性が非常に高いことを認識し、今後もより一層の精度向上に努めたい。

「時代の要請に応える環境ソリューション企業」を経営ビジョンとする当社として、今回紹介した内容を参考にしたい新しいアイデアが生まれることを願う。

*米国の環境保護政策を主管する独立行政機構 Environmental Protection Agency

**直径が2.5 μm 以下の超微粒子。微小粒子状物質という呼び方もある。

*水処理事業部 薬品サービス室 **商品市場・技術開発センター 分析試験室