



愛研技術通信

解説:ダイオキシン問題を考える

特定計量室 下川修平

1 はじめに

私たちの生活は、好むと好まざるにかかわらず、工業的に製造される化学物質によって支えられており、その数は10万種類を超えられている。さらに、人間活動に伴い、多様な化学物質が非意図的に生成されて環境中に放出されており、ダイオキシン類もそのうちの一つである。

ダイオキシン問題は、昭和58年(1983年)11月に、都市ごみ焼却炉の灰からダイオキシン類を検出したと新聞紙上で報じられたことがきっかけとなって、大きな社会的関心が寄せられ今日に至っている。このように、我が国におけるダイオキシン類の発生源は、ほとんどが廃棄物の焼却によるものとされているが、そのほかに、製鋼用電気炉、たばこの煙、自動車排出ガスなどの様々な発生源がある。森林火災や火山活動など自然界でも発生することがあるとされている。また、かつて使用されていたPCBや一部の農薬に不純物として含まれていたものが川や海の底の泥などに蓄積している可能性があるとの報告もある。

本稿では、ダイオキシン類が、社会化問題してから20数年経過するにも拘わらず、何故解決が難しいかを考えてみたい。これには、環境中のダイオキシン量が極めて超微量であることや、それ故に分析に多大の労力を要すること、さらに毒性が極めて強いにも拘わらず人体への影響のメカニズムなど詳しいことが良くわかっていない現状をまず知っておく必要があるであろう。

2 ダイオキシン類とは!

ダイオキシン類の構造

一般に、ダイオキシンは、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン(PCDD)とポリ塩化ジベンゾフラン(PCDF)及びコプラナーPCB(Co-PCB)をまとめてダイオキシン類と呼んでいる。なお、コプラナーPCBについては、平成18年4月1日JIS改正時に、ダイオキシン様PCB(DL-PCB)に変更となった。ダイオキシン類は、塩素の配置によりPCDDには75種類、PCDFには135種類、コプラナーPCBには10数種類の毒性の異なる異性体が存在する。

環境中のダイオキシン量は超微量である

重さの単位の始まりは「g=グラム」である。1gの千倍が1kg(キログラム)で、そのまた千倍は1tである。反対に1gの千分の1は1mg(ミリグラム)、その千分の1が1 μ g(マイクログラム)=百万分の1gである。その千分の1が1ng(ナノグラム)=10億分の1。そのまた千分の1が1pg(ピコグラム)=1兆分の1gである。つまり、1gに0がマイナス12(10^{-12} g)も付く超微量単位である。これを例えていえば、東京ドームに相当する容器に水で満たした場合の重さが約 10^{12} gである。このため、東京ドームに相当する容器に水を満たして角砂糖1個(1g)を溶かした場合を想定すると、その水1ccに含まれている砂糖が1pgになる。それ故、ダイオキシン類は超微量の分析を強いられるという難しさがある。(なお、この超微量の単位を表現するのに、環境ホルモンの危険性が世界的にクローズアップされるきっかけになったシーア・コルボーン博士達の著書「奪われし未来」(1996)の中では、タンク車660台分のトニックにジンを一滴垂らすという例えで説明しているのが面白い。)

ダイオキシンは意図せずに生成される

次の問題として、ダイオキシンが燃焼過程などで非意図的に生成される化学物質であるということである。

化学物質には、1)製品として生産・使用され、使用・廃棄の過程で環境を汚染するもの、2)製品に副生成物または不純物として含まれ、製品の使用・廃棄に伴って環境を汚染するもの、3)生産工程や焼却に伴って発生し、大気、水質などの環境の汚染を引き起こすもの、の3種類がある。非意図的生成化学物質とは、上記2)および3)に該当する物質といえる。ダイオキシンの場合、2)の事例としては塩化フェノール及びそれらを原料とする農薬製造時の副生成物による環境の汚染、また3)の事例としては廃棄物焼却施設による環境の汚染があり、非意図的生成化学物質の代表といえる。

極めて強い毒性を持っている

ダイオキシン類の毒性については、動物実験の結果から、急性毒性、慢性毒性、発ガン性、生殖毒性、免疫毒性など多岐にわたる毒性を有していることが判っている。

かつて万能の殺虫剤といわれた有機塩素系化合物の DDT は、レイチェルカーソンが著した「沈黙の春」(1962) で発ガン性などの毒性が指摘され、日本では 1971 年に使用が禁止された。その DDT の耐用 1 日摂取量 (TDI = 人の健康影響を考える上で、生涯にわたって摂取し続けても問題ないとされる化学物質量の指標) は体重 1kg 当たり 1 日 20 µg である。一方、後述するダイオキシンの TDI は、1999 年 7 月に制定された「ダイオキシン類対策特別措置法」で体重 1kg 当たり 1 日 4pg であるから、実に 500 万倍も厳しい基準である。つまりそれだけ毒性が強いといつて良い。

表1 毒性等価係数 (TEF : Toxic Equivalency Factor) [1998 年に WHO/IPCS から提案されたもの]

	化合物名	TEF (1998)
PCDD (ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン)	2,3,7,8-TeCDD	1
	1,2,3,7,8-PeCDD	1
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
	OCDD	0.0001
PCDF (ポリ塩化ジベンゾフラン)	2,3,7,8-TeCDF	0.1
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
	OCDF	0.0001
DL-PCB (ダイオキシン様 PCB)	3,4,4',5-TeCB (#81)	0.0001
	3,3',4,4'-TeCB (#77)	0.0001
	3,3',4,4',5-PeCB (#126)	0.1
	3,3',4,4',5,5'-PeCB (#169)	0.01
	2',3,4,4',5-PeCB (#123)	0.0001
	2,3',4,4',5-PeCB (#118)	0.0001
	2,3,3',4,4'-PeCB (#105)	0.0001
	2,3,4,4',5-PeCB (#114)	0.0005
	2,3',4,4',5,5'-HxCB (#167)	0.00001
	2,3,3',4,4',5-HxCB (#156)	0.0005
	2,3,3',4,4',5'-HxCB (#157)	0.0005
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (#189)	0.0001

しかも、PCB などのように長期残留性のあるものは生産を禁止しても環境中に残り、影響が続くということが問題なのである。このように考えると、一番深刻な問題は、やはり猛毒で残留性が強く、しかも燃焼等により二次的に生成されるダイオキシンやコブラナーPCB ということになるのかも知れない。

先にダイオキシン類は毒性が極めて高いと記したが毒性の強さはそれぞれ異なり、PCDD のうち 2 と 3 と 7 と 8 の位置に塩素の付いたもの (2,3,7,8-TCDD) がダイオキシン類の中で最も毒性が強いとされている。そのため、ダイオキシン類としての全体の毒性を評価するためには、合計した影響を考える手段が必要である。そこで、最も毒性が強い 2,3,7,8-TCDD の毒性を 1 として他のダイオキシン類の毒性を換算した係数が用いられる。これを毒性等価係数 (TEF) (表 1) といい、各化合物の実測濃度にこの係数をかけて毒性当量 (TEQ) を算出することになっている。なお、毒性等価係数 (TEF) については、愛研技術通信の第 11 号にも記されているように、平成 20 年 4 月 1 日より改正される。

ダイオキシン類は人に対してどんな影響があるのか？

ダイオキシン類は、意図的に作られる物質ではなく、実際に環境中や食品中に含まれる量は超微量である。したがって、日常生活の中で摂取する量によって急性毒性が生じるとは考えにくい。WHO（世界保健機構）の国際がん研究機関（IARC）では、ダイオキシン類の中で最も毒性の強いとされる2,3,7,8-TCDDについては、事故などの高濃度による暴露の際の知見から人に対する発がん性があるとしている。なお、ダイオキシン類自体が直接遺伝子に作用して発がんを引き起こすのではなく、他の発がん物質による発がん作用（がん化）を促進する作用（プロモーション作用）であるとされている。しかし、日本の通常的环境汚染レベルは、ダイオキシン類によりがんになるリスクが生じるレベルではないと考えられている。

日本では平成11年7月にダイオキシン類の耐容一日摂取量（TDI：長期にわたり体内に取り込むことにより健康影響が懸念される化学物質について、その量までは人が一生涯にわたり摂取しても健康に対する有害な影響が現れないと判断される1日体重1kg当たりの摂取量）を4pgと設定しており、体内に取り込んだダイオキシン類の総量の安全性の評価は、この数値との比較により行うことになる。この耐容一日摂取量（TDI）は、生涯にわたって摂取し続けた場合の健康影響を指標とした値であり、一時的にこの値を多少超過しても健康を損なうものではない。また、ダイオキシン類の耐容一日摂取量（TDI）は、最も感受性の高いと考えられる胎児期における暴露による影響を踏まえて設定されている。発がんなどの影響についてはより高い暴露でないと観察されない。さらに、4pgのTDIは動物実験で得られた結果を人に当てはめた上で、さらに、安全を見込んで1/10の数値に設定したものである。

いったいダイオキシン類をどのくらい摂取しているのか？

日本人の一般的な食生活で取り込まれるコプラナーPCBを含めたダイオキシン類の量は、厚生労働省の平成18年度の調査（一日摂取量調査）では人の平均体重を50kgと仮定した体重1kg当たり約1.04pg-TEQと推定されている。そのほか、呼吸により空気から取り込む量が約0.05pg、手に付いた土が口に入るなどして取り込まれる量が約0.0084pgと推定され、体重1kg当たり約1.1pgと推定される。これは、安全の目安となる耐容一日摂取量（TDI）を下回っており、1990年代と比べて年々明らかに減少傾向にある。しかし、ダイオキシン類の主な発生源は、現在でもごみ焼却による燃焼であるといわれ、物を燃やし、処理施設で取りきれなかったものが大気中へ排出され、それが大気中の粒子にくっつき地上へ落ち、土壌や水を汚染する。そして、汚染された水中に住むプランクトン、魚貝類に食物連鎖を通して取り込まれていくことで人間を含めて高位の生物に蓄積されていくと考えられている。特に、ヒトの胎児期で問題になるのは、ダイオキシン類を母親が摂取した量ではなく、時期が重要であるという指摘がある。いくら大量に摂取したとしても何ら影響がない場合と、ほんの微量（ピコグラム以下）の量を摂取しただけでも影響がある場合とがある。その影響が発現する特定の時期は、受精後いつぐらいなのかはまだ解っていない。

3 ダイオキシン類分析 - (株)愛研の基本的操作 -

ダイオキシン類の分析は、既に述べたように、ダイオキシン類の毒性が極めて高いうえに、環境中濃度がpgオーダーという超微量であることから他の環境分析とは異なり一般の実験室内ではなく、特別な空調設備（室圧調整など）を整えた実験室で行なわれる。通常の分析の流れは、試料をソックスレーで溶媒抽出を行い、硫酸処理によって夾雑物を除去、さらに多層シリカゲルカラムクロマトグラフ、アルミナカラムクロマトグラフ、高速液体クロマトグラフ、活性炭カラムクロマトグラフ、ジメチルスルホキシド（DMSO）分配処理などの操作によってクリーンアップを行い、精製した試料を高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計で測定し、ピークの同定および定量を行うのが一般的である。

参考までに、自社の精製操作の概要（表1）及び基本的な操作をフローシート（図1）に示す。

4 結び

日本のダイオキシン対策は、欧米と比べて20年遅れたといわれている。世界ではじめてごみ処理場の排ガスからダイオキシン類が検出されたのは、1977年のオランダからの報告にはじまる。日本でも既に述べたように、1983年に愛媛大学の立川教授により「ごみ処理施設の排ガスからダイオキシン検出」と発表し、大きく報道された。

表2 精製操作の概要

操作名	主な効果
硫酸処理-シリカゲルカラムクロマトグラフ操作	大部分のマトリックスの分解除去 着色物質、多環芳香族炭化水素、強極性物質の除去
多層シリカゲルカラムクロマトグラフ操作	フェノール類、酸性物質、脂質、タンパク質、含硫黄化合物、脂肪族炭化水素類、強極性物質、着色物質、多環芳香族炭化水素の除去
アルミナカラムクロマトグラフ操作	低極性物質、有機塩素化合物の除去
高速液体クロマトグラフ操作	PCDDs及びPCDFs、DL-PCBの分離精製
活性炭カラムクロマトグラフ操作	PCDDs及びPCDFs、DL-PCBの分離精製
ジメチルスルホキシド（DMSO）分配処理操作	脂肪族炭化水素などの低極性物質の除去

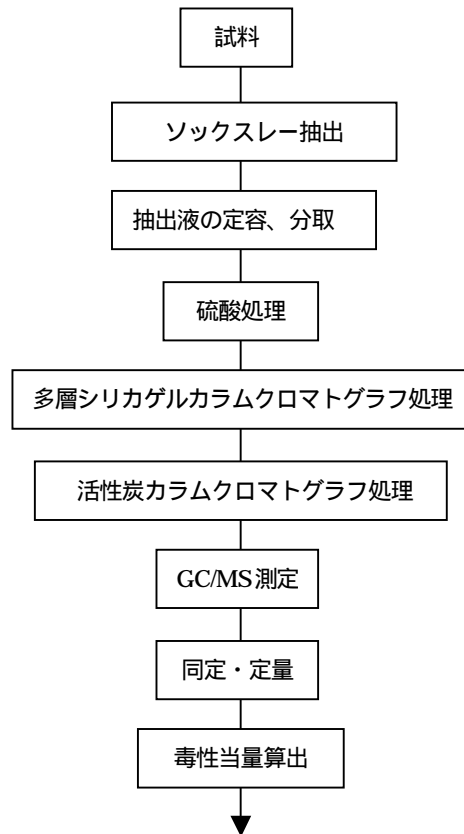


図1 ダイオキシン類分析に係る基本的操作のフローシート

先進国では、その時点で既に排気ガスの基準を作り発生源規制をおこなった。ところが、日本では1990年になってやっと「ダイオキシン類発生防止ガイドライン」を発表したものの、内容は不十分なものであった。そうして、1996年12月に「新ガイドライン」を発表し、日本のダイオキシン対策がやっと動き始めたというのが実情である。

ダイオキシンをはじめ化学物質問題の解決を難しくしている点は、私たちの身の回りでは、既に無数と言える化学物質が使用されているため、原因物質を突き止めるのが極めて難しいところにある。大気や水、農薬や食品などを通して、私たちは絶えず様々な化学物質にさらされている。化学物質同志の相加作用や拮抗作用というものもある。それにまた、ストレスや社会的背景など化学物質と類似の病的症状をもたらす多くの要因もある。

これらは、化学物質の因果関係を立証するのにおのずと相当の時間を要することを暗示している。しかしだからといって、何もしなくて良いということにはならない。この不確実性を私たちはどのように受けとめるか、ということが最大の課題である。特に計量証明機関としての私たちの役割は、いかに質の高いデータをどのように具体化し、形にしていけるか、そここのところに手腕が問われているように思われる。

【参考文献】

- 1) JIS K 0311 「排ガス中のダイオキシン類及びコプラナーPCBの測定方法」
- 2) ダイオキシン類 2005 (関係省庁共通パンフレット)
- 3) 平成18年度 食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査報告 厚生労働省医薬食品局食品安全部
- 4) 特集「ダイオキシンと内分泌かく乱化学物質(環境ホルモン) - 今、改めて、ダイオキシンを発生抑制しなければならない理由を考える -、月刊廃棄物、1998 - 10, 4 - 40 (1998)

最新ニュース

地盤情報のデータベース、来年度初めにも公開 土木研究所

土木研究所は来年度初めにも自然由来の重金属類への対応に向け、地盤情報のデータベースを公開する方針を固めた。自然由来の重金属類の分布を鉱山跡地などの調査を行いデータベース化、GISソフトで算出元素ごとの分布図を作成、鉱床による重金属汚染リスクが高い岩石の種別とその地質的要因の検討などを進める。建設工事の設計、計画段階などで活用することで重金属によるリスクの回避やリスクの緩和などが期待できそうだ。(環境新聞、2007年9月4日)