



化学技術と環境汚染

—ダイオキシン問題に学ぶ—

植村振作*

はじめに

昨年末、立川らによる国内ごみ焼却場残灰からのダイオキシンの検出が各紙で大きく報道された¹⁾。ダイオキシンは類を見ないほど強い毒性を持った物質で、今回の問題が、不測の事故や意図的な放出によるものではなく、いわば市民生活に不可欠なごみ焼却・処理に伴って発生したものだけに、過去さまざまな公害や問題の展開を考えると具体的な被害が発生してからの対応では遅すぎる。被害を未然に防ぐため、ダイオキシンの性状、今後の対応策や生態学的視点の欠如しがちな現代技術について若干述べる。

ダイオキシンとは

現在環境汚染が問題になっているいわゆるダイオキシンは、2, 3, 7, 8-四塩化ダイオキシン(2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-*P*-dioxin, TCDD)の略称で、その他に四塩化ダイベンゾフラン(2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzofuran, TCDF)汚染も同時に問題になっている。

塩化ダイオキシン、塩化ダイベンゾフランには一塩化物から八塩化物までそれぞれ75種および135種の異性体が理論的に考えられる。これらを総称してポリ塩化ダイオキシン(polychlorinated dioxin, PCDD), ポリ塩化ダイベンゾフラン(polychlorinated dibenzofuran, PCDF)と呼ぶ。

PCDD や PCDF は有機塩素系農薬や殺虫剤などの製造過程で副生し、不純物として混入して来る。例えば、2, 4, 5-トリクロロフェノールをアルカリ条件下で加熱すると、図2の

ように脱塩酸反応が起こり TCDD が生成する。このような反応は他の多くのハロゲン化フェノールについても生じ、種々のポリハロゲン化ダイオキシンが生成する²⁾。この点実験室規模の研究でも十分注意しなければならない。

TCDD の性質は比較的よく調べられているが他の PCDD については詳しくは知られていない。TCDD は室温で固体で、酸・塩基に対して極めて安定で、バクテリアによる分解も遅く、土壌に吸着した TCDD は分解しにくい。自然環境中で極めて安定である。しかし、水素供与体共存下(例えばキシレン・オレイン酸エチル溶液やメタノール中)では紫外線によって速やかに分解する³⁾。

PCDD の急性毒性は表2に示す通り置換塩素数、位置の違いによって大きく異なる。また動物の種類によっても異なる。PCDD のうち TCDD の毒性が最も強い。TCDF の毒性の強さは TCDD の数分の1~10分の1である。TCDD はマウスやラットで強い催奇形性を示す。妊娠6~15日目までに1 μ g/kgのTCDDを投与されたマウスでは胎仔の21%に口蓋裂、49%に腎臓奇形が発生し、同様に0.5 μ g/kgを投与されたラットでは胎仔の23%に腎臓奇形が見られる⁴⁾。TCDD はラットで極めて強い発がん性を示す。TCDD 0.1 μ g/kg 2年間投与で雌雄に肺、硬口蓋・鼻腔介部あるいは舌に扁平上皮がん、雌では加えて肝臓に肝細胞がんを起こす⁵⁾。以上の通り、TCDD は難分解性で、急性毒性のみならず極めて強い催奇形性、発がん性を持つ。

ごみ焼却での TCDD 類の生成

塩素化フェノール系化合物の合成あるいはそれを原料とする塩素化合物の合成に伴って TCDD や TCDF が生成されることは、すで

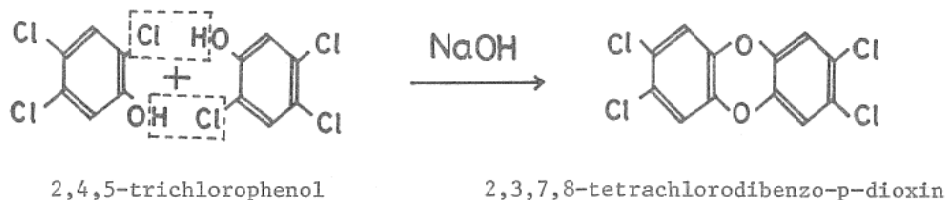
*植村振作 (Shinsaku UEMURA), 大阪大学, 理学部, 高分子学科, 助手, 高分子物理



polychlorinated dibenzo-p-dioxins

polychlorinated dibenzofurans

図 1



2,4,5-trichlorophenol

2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin

図 2

表 1 TCDD の化学的性質

室温で固体, 融点: 303~305°C	
溶解度 (g/100g)	
クロロホルム	0.037
アセトン	0.011
メタノール	0.001
水	2×10^{-7}

表 2 ポリ塩化ダイオキシンの半数致死量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)^{4), 5)}

化合物	動物種	
	モルモット	マウス
2, 8-Cl ₂	>300,000	—
3, 3, 7-Cl ₃	29,444	>3,000
2, 3, 7, 8-Cl ₄	2	284
〃	0.6	—
1, 2, 4, 7, 8-Cl ₅	3	338
1, 2, 3, 6, 7, 8-Cl ₆	70~100	1,250
1, 2, 3, 7, 8, 9-Cl ₆	60~100	>1,440
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8-Cl ₇	>600	>1,400

に70年代前半から知られていた。しかし、ごみ焼却場において PCDD 類が生成することが知られたのは比較的新しく、1977年に Olie らが都市廃棄物処理場の飛灰、煙道からの PCDD 類検出を報告したのが初めてである⁸⁾。それ以来欧米を中心にしてごみ焼却施設からの PCDD 類検出報告が続いている。

一方、わが国では、1979年 Eiceman らが京都市周辺都市ごみ焼却場飛灰からの四塩化ダイオキシン検出を報告したのが最初である⁹⁾。その後、脇本ら¹⁰⁾や榎本ら¹¹⁾によっても一般生活または産業廃棄物焼却残渣中からの PCDD, PCDF 検出が報告された。

今回立川らが分析対象とした西日本9カ所の全施設の焼却残渣から TCDD, TCDF が検出されたことを考慮すると、他の一般のごみ焼却場でも発生しているものと考えられる。

塩化ダイオキシンが生成するためには、ベンゼン環またはフェノールができるための有機物供給源とそれらの塩素化のために必要な塩素の供給源が必要である。以上の考察から PCDD, PCDF 原因物質として

- 有機塩素系農業
- 有機塩素系工業薬品 (PCB, 有機塩素系溶剤など)
- 熱分解 (燃焼) によりフェノールや塩素ガスの発生する合成樹脂
- 無機塩素化合物 (特に食塩)

などが考えられる。これらのうち何れが主要原因物質であるか現在のところ具体的には明らかでない。筆者は、一般生活廃棄物の中に占める割合、それからの PCDD, PCDF 生成の可能性の度合いなどを考慮して、第三群の合成樹

脂、なかでもポリ塩化ビニール、ポリ塩化ビニリデンなどの含塩素樹脂を最も疑う。さらに、含塩素合成樹脂だけでなく、一般生活廃棄物中にかなり混入しているポリエチレン、ポリスチレン、ポリエチレンテレフタレート、ポリカーボネート、フェノール樹脂（パークライト）などの合成樹脂も熱分解によりベンゼン、フェノールを生成することが知られており^{12~14}、PCDD、PCDF生成のための原因物質として見逃さないであろう。

二つの対応策

現在、具体的なダイオキシン抑制策は講じられていないが、基本的に相異なる次の二つの対応策が考えられている。

その一つは高温処理法である。TCDDやTCDFは比較的低温（300~500℃）で生成しやすく、高温（~1,000℃）では分解しやすい。この性質を利用して、炉の燃焼温度を上昇させることによってTCDD類の発生を抑えようとする対策である。しかし、現在一般に普及している焼却炉の燃焼室の上部と下部では著しい温度差があり、TCDD類が完全に分解する高温まで炉内の温度を均一に上げることは困難である。あえて燃焼温度を上げれば窒素酸化物が生成し新たな問題が生じる。

第二の方法は、PCDD、PCDF原因物質と考えられるごみの焼却炉への投入中止である。公害防止にはその発生源を断つことが最も有効である。その方法は技術的側面、社会・経済的要因などによって違ってくる。今回の場合、その原因物質として最も疑わしい合成樹脂廃棄物の焼却炉投入中止であるが、この方法は住民の協力を必要とする。一般生活廃棄物中に十数%を占める合成樹脂類を焼却しなければ、やがてごみ埋立地不足を招き、その結果として必然的にごみ減量が叫ばれることであろう。

なぜ「ダイオキシン問題」が生じたか

高温処理によって「ダイオキシン問題」が解決されると説く技術関係者もいる。しかし、それは「ダイオキシン問題」の本質を見誤った考え方である。

現在、年間100万トン以上の塩化ビニール樹脂が生産されており、その約半分に相当する量が処理方法のわからないまま毎年廃棄されている。

業界は、「ダイオキシン問題」発生後直ちに「廃棄物の発生を処理の立場から否定的にとらえるのではなく、むしろ豊かな国民生活を享受した結果としてこれを肯定的にとらえ、前向きに施策の充実・効率化を図ることが基本的に重要である」と廃棄物の処理についての考え方を明らかにした¹⁵。

「ダイオキシン問題」は確かに物の「豊かな生活」を享受した結果生じた問題である。その豊かさは、物がどのようなかたちで自然に還るかということを考えないまま新たな物質を大量に造り出した技術によって支えられて来た。すなわち、村田が指摘したように、自然の物質循環機構を無視した技術によって支えられて来たのである¹⁶。もともと自然に還元されにくい有機塩素系化合物を生産し、無理矢理に還元させようと企てたために、人間がこれまで自然界で遭遇したことの無い毒物が生じたのである。従って、自然の仕組みに取り込まれ難い物の廃棄は基本的には否定的にとらざるを得ない。燃焼技術によって減らせるだけ減らすのは当然のことであるが、現在採るべき基本的な方策は、先に述べた第二の方法であろう。

それには、自然生態系になじまないことがあらかじめ明らかな物を大量に造り出さない、という新しい技術の倫理の確立が望まれる。

おわりに

塩化ダイオキシンによる環境汚染、中毒事故の歴史については紙面の都合上割愛した。この点に関しては文献17を参照されたい。

文 献

- 1) 例えば、朝日新聞、1983年11月19日朝刊
- 2) F. E. Dryden, et al., "Dioxins: Volume III. Assesment of Dioxin-Forming Chemical Processes", EPA (PB80-220098) (1980)
- 3) F. Gattabeni, et al., "Dioxin-Toxicological and Chemical Aspects", Sp Medical & Science (1980)
- 4) E. D. McConnell, et al., Toxicol Appl.

- Pharmacol., **44**, 335 (1978)
- 5) G. L. Sparschu, et al., *Fd. Cosmet. Toxicol.*, **9**, 405 (1971)
 - 6) K. S. Khera and D. A. Lyon, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **13**, 1 (1968)
 - 7) R. I. Kociba, et al., *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **46**, 279 (1978)
 - 8) K. Olie, et al., *Chemosphere*, **6**, 454 (1977)
 - 9) G. A. Eiceman, et al., *Anal. Chal. Chem.* **51**, 2343 (1979)
 - 10) 脇本忠明他, 日本農芸化学会昭和55年度大会講演要旨集, 366 (1980)
 - 11) 極本 隆他, *環境技術*, **12**, 779 (1983)
 - 12) 海外技術資料研究所, “主要プラスチック・繊維燃焼時の有害ガス—1973”
 - 13) 武内次夫他, “高分子の熱分解 ガスクロマトグラフィー”, *化学同人* (1977)
 - 14) 西 未雄他, *ラバーダイジェスト*, **28**(12), 2 (1976)
 - 15) 経済団体連合会, “廃棄物処理をめぐる 今後の対策のあり方”. 1984年2月14日
 - 16) 村田徳治, *廃棄物処理研究*, **9**(2), 4 (1983)
 - 17) 綿貫礼子他編, “ダイオキシン 汚染のすべて—技術と人間臨時増刊号”, *技術と人間* (1983)