

ダイオキシン問題の異性体パターンによる検討

小田 清一*

I はじめに

ダイオキシンについての報道は多くの場合「猛毒ダイオキシン」と冠して報じられ、国民の不安感はそのために一層増すことになる。ダイオキシンが体内に取り込まれる経路としては、食品、水、大気、土壌などがあるが、今日の一般的な日本人の体内に取り込まれているダイオキシンの約9割は食物から摂取されていると推定されている¹⁾。

わが国で過去に環境中に排出されたダイオキシンの主な発生源は農薬や除草剤に不純物として含まれていたダイオキシンによるものと指摘されているが、近年では環境中に排出されているダイオキシンの約8割が一般廃棄物の焼却(産業廃棄物の焼却も含めると約9割)によって発生していると推計されている²⁾。しかしながら、平成9年12月1日から既存の廃棄物処理施設に対する規制の強化がなされた結果、一般及び産業廃棄物焼却施設からのダイオキシン排出量は現在大幅に減少しつつあり、平成10年の排出量は年間2,300g-TEQで、平成9年の5,620g-TEQの約4割に減少していると推定されている。さらに、廃棄物処理法の規制がさらに強化される平成14年12月には廃棄物焼却施設からのダイオキシン排出量は約9割削減されると予測されている。

このような状況にも関わらず、廃棄物処理施設周辺住民の不安は高く、昨年2月初めには一部マスコミの誤った報道により廃棄物焼却施設

が密集する地域の野菜が売れなくなるといったパニック的な状況も発生している。

本稿では①一般住民のダイオキシン汚染と廃棄物焼却施設との関係、②廃棄物焼却施設の作業員、周辺地域住民、一般住民に対する廃棄物処理施設からの影響③食品からのダイオキシン摂取と廃棄物処理施設との関係という点について、主にダイオキシンの異性体パターンを中心に検討を行った。

II 母乳中ダイオキシンと 一般廃棄物焼却量の関係

ダイオキシンが体内に取り込まれると、大部分は脂肪組織に蓄えられ、分解されたり体外に排出される割合は少なく、体内に長くとどまるため、ダイオキシン類の半減期は平均して約7.5年と長く、われわれの通常の食生活では体内蓄積量は徐々に増加していく。つまり、現在われわれの体内に含まれているダイオキシンは、過去から現在までに摂取、蓄積されてきたダイオキシンであり、過去から現在までのかなり長期間の汚染を反映していることになる。

母乳中のダイオキシン濃度は血液中のダイオキシン濃度ともよく相関し、かつダイオキシンが脂溶性であり、母乳による測定が血液に比べて技術的に容易であり、また検体採取の協力も得やすいため、人体汚染のデータとしては最もよく使われている。

一般にダイオキシンといえばダイオキシン類のことをいい、75種類のポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(PCDDs)と135種類のポリ塩化ジ

*厚生省国立病院部政策医療課長

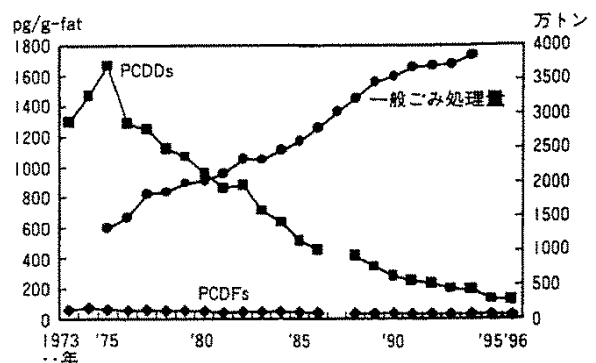
表1 ダイオキシン類異性体と毒性等量 (TEQ)

異性体番号	PCDDs	毒性等量	異性体番号	PCDFs	毒性等量
1	2,3,7,8-TCDD	1	8	2,3,7,8-TCDF	0.1
2	1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	9	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05
3	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	10	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5
4	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	11	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
5	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	12	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
6	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	13	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
7	OCDD	0.001	14	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
			15	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
			16	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01
			17	OCDF	0.001

ベンゾフラン (PCDFs) の異性体の総称である。ダイオキシン類対策特別措置法ではこれにコプラナーポリ塩化ビフェニル (Co-PCBs) が新たに加えられている。これらの異性体は毒性も異なるため、通常は毒性の強さからPCDDs 7種類、PCDFs 10種類 (表1) が測定されることが多い (最近ではこれに加えて12種類のCo-PCBsが測定されている)。また、毒性などを比較する場合には、一般にこれらの異性体を最も毒性の強い2, 3, 7, 8-テトラクロロジベンゾダイオキシン (2,3,7,8-TCDD) の毒性に換算して、総合して2,3,7,8-TCDD毒性等量 (TEQ) として表示している。

1973年から1996年までの大阪地区住民の母乳中ダイオキシン類濃度は2,3,7,8-TCDD毒性等量 (TEQ) 換算で32.1TEQpg/gから16.3TEQpg/gへと半減している。毒性等量はダイオキシン汚染の危険度の変化をみるには適しているが、汚染の程度そのものの変化を見るためにはダイオキシン類の実測値の変化を見る必要がある。ダイオキシン類の実測値は1975年の1730.2pg/g-fatから1996年の150.8pg/g-fatまで10分の1以下に減少している³⁾ (図1)。また、この減少の程度は異性体によって異なっており、PCDDsはこの間に7.5%まで減少しているのに対し、PCDFsは36.4%までの減少にとどまっている。このためPCDFsの全体に占める比率は1975年の3.6%から1996年には17.5%に増加している。実測値と毒性等量の減少量のギャップは、毒性の少ない異性体が大幅に減少しているのに対し、毒性の強い異性体の減少割合が少ないということを意味している。

図1 一般ごみ焼却量と母乳中ダイオキシン量の推移



これまでに得られたわが国の各地域の母乳中のダイオキシン濃度のデータにはそれほど大きな地域差は存在せず、経年的な調査結果はいずれも近年減少傾向を示しているため、大阪のデータは日本人の母乳中のダイオキシン濃度の推移とほぼ同様の傾向を示すものと考えられる。母乳中のダイオキシン類濃度の減少は世界的な現象であり、ドイツでも1989年から1997年の間に65%の減少が報告されている⁴⁾。

一方、全国の一般廃棄物焼却量の推移をみるとこちらは過去20年で約2倍に増加している (図1)。もし体内に蓄積されているダイオキシンのある程度の部分が廃棄物焼却施設に由来するダイオキシンによるものであれば、母乳中のダイオキシン濃度が経年的に減少を続け、かつ10分の1以下になるということの合理的説明は困難である。

Ⅲ ダイオキシン異性体パターンによる分析

毒性等量や実測値による評価方法はダイオキシン汚染全体を一つの指標で総合的に評価するのには適しているが、ある物質の中にどのような種類のダイオキシンがどの程度含まれているかといった暴露内容の評価には利用できない。

図2 廃棄物焼却施設残留水異性体パターン

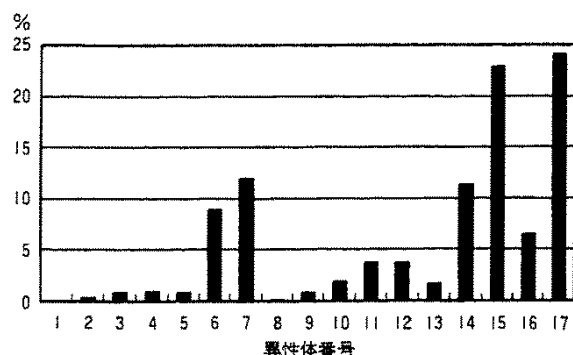


図3-1 食餌中のダイオキシン異性体パターン（関西地区）

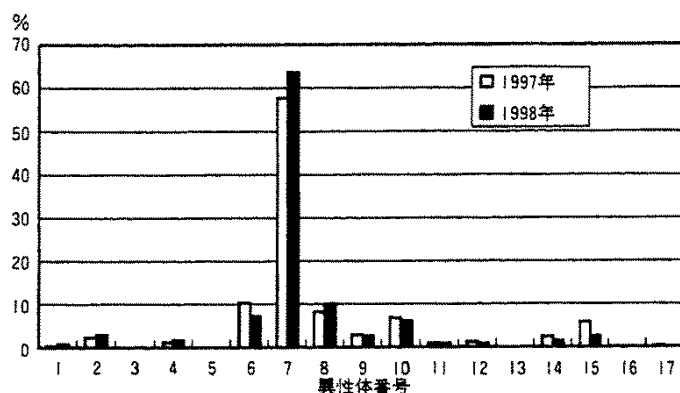
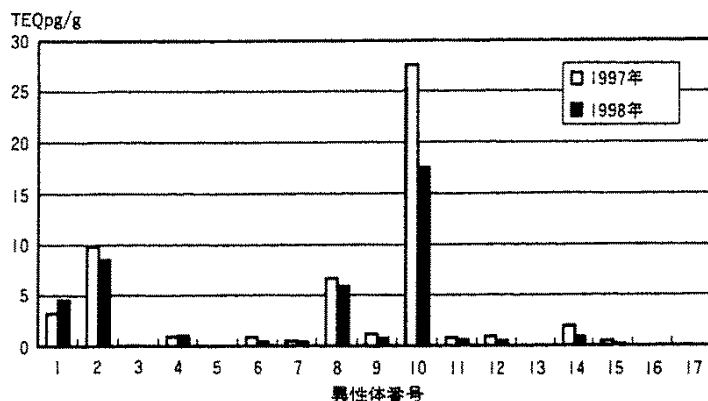


図3-2 食餌中のダイオキシン異性体毒性等量（関西地区）



そこで本稿では7種のPCDDsと10種のPCDFs全体を100%とし、それぞれの異性体の構成比（以下「異性体パターン」と呼ぶ）を求めて暴露内容についての検討を行った。

（1）廃棄物焼却施設排出物の異性体パターン

現在のダイオキシンの主要発生源とされる廃棄物焼却施設から排出されるダイオキシンの異性体パターンを見ると、ダイオキシンが多量に排出されていることで問題となった大阪府能勢町のごみ焼却施設「豊能郡美化センター」の冷却棟内残留水中のダイオキシン異性体パターンはPCDFsの構成割合が全体の76.3%と高く、特に2,3,4,6,7,8-HCDFからOCDFにかけての割合が高いパターンとなっている⁵⁾（図2）。同時に発表されている他のいくつかの焼却施設の冷却水中のダイオキシンの異性体パターンも同様の傾向を示していることから、このパターンは対策が講じられていない同様のタイプの焼却施設に共通してみられるものと考えられる。

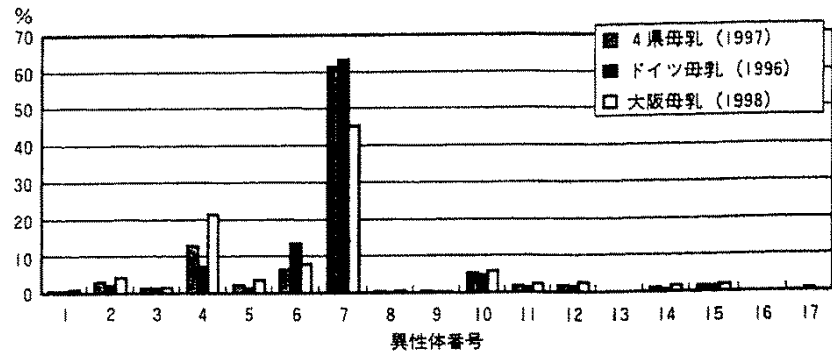
（2）1日の食餌中の異性体パターン

一方、一般人の体内に摂取されるダイオキシンの約9割を占めるといわれている食品中のダイオキシンについて1997年度と1998年度の食品中のダイオキシン類汚染実態調査報告のトータルダイエットスタディから関西地区での1日に摂取するダイオキシン類の異性体パターンを求め図3-1に示した⁶⁾⁷⁾。

これによれば食事中的ダイオキシンパターンは母乳中のダイオキシンパターン（図4）とほぼ同様であり、食餌が体内汚染と強く関連していることを裏付けるデータとなっている。1997年度から1998年度への変化をみると、ほぼ同様の異性体パターンを示している。この間のダイオキシン類の1日総摂取量は、量的には816.5 pg/g/day から590.2 pg/g/day へと

約28%減少しており、毒性等量もほぼ同様に54.7 TEQpg/g/day から41.0 TEQpg/g/day と約25%減少している。毒性等量を異性体別に比較したのが図3-2であるが、2,3,7,8-TCDD以外の異性体はほとんどが減少している。

図4 4県、大阪、ドイツ一般住民母乳中ダイオキシン異性体パターン



(3) 体内の異性体パターン

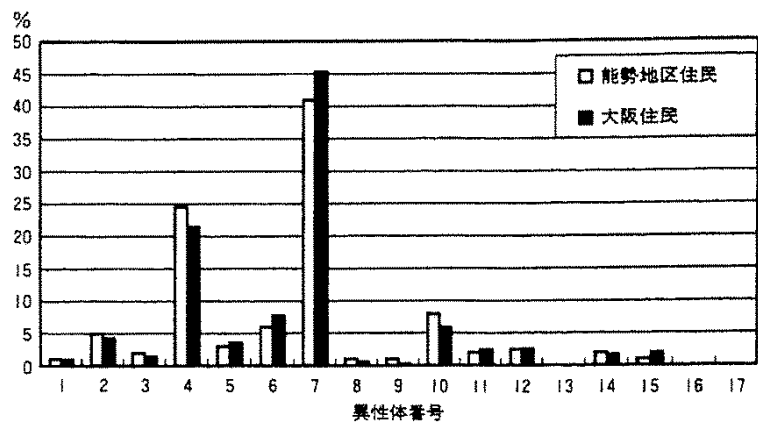
それでは体内に蓄積されたダイオキシンを反映する母乳中のダイオキシン類はどのような異性体パターンを示すのであろうか。図4は1997年に実施された4都府県住民80人(埼玉, 東京, 石川, 大阪), 1996年のドイツ住民7人, 1998年の大阪府住民20人の母乳中ダイオキシンの異性体パターンである。ドイツのデータの例数は少ないが、ドイツの他の地域の異性体パターンも同様であることが、このデータが報告されていた論文の中でも述べられていることから、偏りのあるデータではないものと考えられる⁸⁾。

3つのデータの構成割合をみると非常によく似ており、ダイオキシンの人体汚染は地球規模でほぼ同様のパターンとなっていると考えられる。全ダイオキシン類に占めるPCDDsの割合は4都府県87%, ドイツ89%, 大阪84%といずれの地域のデータでも8割以上を占めている。またPCDDsの中ではいずれもOCDDの割合が最も高く、ついで日本は1,2,3,6,7,8-HCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HCDDの順となっているが、ドイツではこの逆と若干の違いがある。

(4) 廃棄物焼却施設周辺地域住民へのダイオキシンの影響

図5は1998年に測定された、能勢町の廃棄物焼却施設周辺地域住民と大阪府住民の母乳中のダイオキシンの異性体パターンを比較したもの

図5 大阪と能勢地区住民母乳中ダイオキシン異性体パターン



であるが、能勢地区住民のPCDDsの構成割合は83%と大阪府住民の84%と差はなく、両パターンは酷似しており、また、ダイオキシン類の量的な増加も認められなかった。

仮に焼却施設からのダイオキシンの影響がみられるとすれば、程度の差はあれ、後に述べる廃棄物焼却施設従業員の検査データにみられるように母乳中のダイオキシン類の濃度は増加し、また、増加する異性体の多くは焼却施設から多く発生するPCDFsであるはずである。しかしながらこのデータからは能勢地区の焼却施設からのダイオキシンが周辺地域住民の母乳中のダイオキシンへ影響を与えているとの結果は得られない。

廃棄物焼却施設周辺地域住民へのダイオキシンの汚染については、1997年の厚生科学研究で4都府県の廃棄物焼却施設周辺地域住民と非周辺地域住民との母乳中のダイオキシン濃度には差がなかったと報告されている⁹⁾。また、世界保健機関の報告でも確認された影響はなかったと

報告されている⁴⁾。

(5) 廃棄物焼却施設従業員へのダイオキシンの影響

これまで述べてきたように、一般地域住民に対する廃棄物焼却施設からのダイオキシンの影響は認められていないが、廃棄物焼却施設の従業員等の場合は一般住民の場合とは明らかに異なっており、WHOの専門委員会が集めた世界の汚染のデータによると、職業暴露等では一般住民の1桁から3桁濃度が高いと推計され、異性体のパターンも一般の食物からの摂取によるものと異なり、通常、焼却施設に関連する2, 3の異性体が大部分を占めると報告されている⁴⁾。

わが国においても大阪府能勢町のごみ焼却施設「豊能郡美化センター」の労働者では、焼却施設や焼却炉に関連する作業に密接に従事する者ほど血中ダイオキシン類濃度は高くなり、最も関連の高い焼却炉関連設備内作業従事者15人の血中ダイオキシン濃度の平均は脂肪1グラム当たり323pgTEQで、この焼却施設の周辺住民46人の平均血中ダイオキシン濃度25.3pgTEQ/g-fatの約13倍となっていた⁷⁾。また、この15人では他の作業従事者の77人とは異なり作業に従事した推定暴露期間と血中ダイオキシン類濃度との間に有意な強い正の相関($r=0.768$)が報告されており、作業に従事する期間が長いほど血中ダイオキシン濃度が高くなる傾向となっている。

また、廃棄物焼却施設従事員92人のダイオキシン異性体パターンは図6のように、これまでにみられた一般住民の母乳や血液中のパターンとは明らかに異なり、焼却施設から検出されたダイオキシンの異性体で増加しているPCDFsの割合が51.1%と多く、全体のパターンも類似している。これは92人の平均であり、最も暴露の高い焼却炉関連設備内作業従事者15人についての異性体パターン(公表されていない)はさらにPCDFsの割合が増加し、廃棄物焼却施設から排出されたダイオキシンの異性体パターン(図2)に近づくものと考えられる。

図6 能勢作業員血液中ダイオキシン異性体パターン

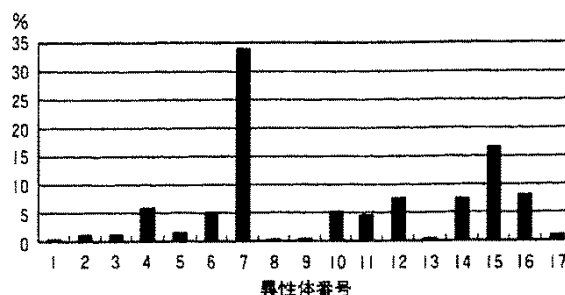
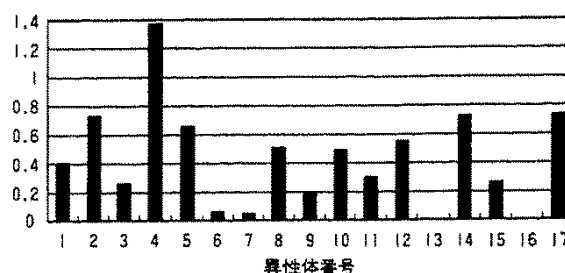


図7 大阪での異性体別母乳中ダイオキシン類の変化(1996/1975)



これらの事実、焼却施設の作業員の一部では、ダイオキシン摂取の大半が食事由来している一般人とは汚染パターンが異なっていることを示唆している。体内に蓄積されているダイオキシンが、通常の食生活によるダイオキシンの摂取に加えて、職場の環境中のダイオキシンが大気や皮膚等を介して直接体内に取り込まれることによるものであると考えられ、かなり高濃度の暴露が継続する場合には蓄積が進むものと考えられる。なお、これらの作業員の健康調査においてダイオキシンによる健康影響は確認されていないと報告されている⁹⁾。

IV 異性体パターンの経年変化

図7は大阪府住民の母乳中ダイオキシン類異性体の1975年に対する1996年の変化を比で示したものである。この20年間で1,2,3,6,7,8-HCDD以外の異性体はすべて減少しているが、その減少の程度は異性体によって大きく異なっている。これらの変化は汚染原因物質の生成量の変化と関連すると考えられ、個々の異性体の経時変化を見ることは汚染原因を考える上でも重要である。

変化は大きく4つに分けられ、1970年代のピークから一貫して減少を続け、半減から数分の1に減少している群、同様に10分の1から20分の1近く減少している群、1990年前後にピークのある群、比率が1前後でほとんど経年変化のない群に分けられる。

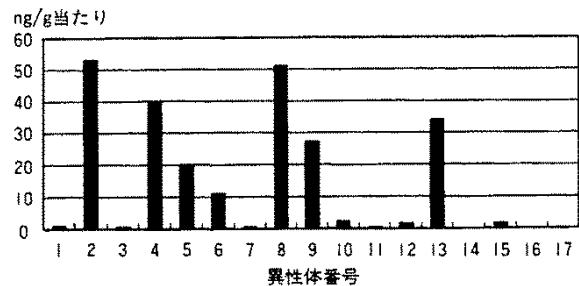
農薬等の他の有機塩素系化合物の検査が、同一の母乳検体について行われているため、その年次推移と比較すると、農薬であるDDTやBHCの母乳中の濃度は1974年前後にピークとなり1996年までに10分の1から20分の1以下に低下しているが、これは1,2,3,4,6,7,8-HCDDやOCDDの減少パターンと酷似しており、これらの減少と農薬などとの関連についてさらに検討する必要がある。1990年頃にピークの見られるものは1,2,3,6,7,8-HCDDや1,2,3,7,8,9-HCDDがあり、ほとんど経年変化を示さないものとして1,2,3,7,8-PCDDがある。このような変動パターンから、ダイオキシンによる汚染は、主たる原因物質が少なくとも複数以上存在するものと推定される。

しかしながら廃棄物焼却施設からの排出量でPCDDsに比べて多いPCDFs(図2)についてはいずれの異性体も経年的に減少傾向を示しており、1997年までの約20年間で倍増している廃棄物焼却量と同様の動きをする異性体はなかった。これは、一般住民への焼却施設からのダイオキシン排出の直接的影響は確認されないことが異性体レベルでも示されていることを意味するものである。

V クロルニトロフェン中の ダイオキシン異性体パターン

以上の事実や、体内に摂取されるダイオキシン類の大半が食餌からのものであることを考えたときに、食品における分布、体内や自然界での代謝、分解などを考慮しても、廃棄物焼却施設の従事者以外の地域住民が焼却施設からのダイオキシンに直接暴露されることによる体内汚染は、仮にあったとしても通常確認されないレベルのものであると考えられる。

図8 CNP中のダイオキシン異性体パターン



1997年度と1998年度の食品中のダイオキシン類汚染実態調査では、1998年にはほとんどの異性体が減少しており、焼却施設に関連するPCDFsなどのバックグラウンド汚染の増加は見られない。これまでの焼却施設作業員や周辺地域住民のデータから考えると、一般住民に対する焼却施設からの汚染は、仮にあったとしても、直接暴露という形より主として間接的な食物連鎖によるバックグラウンド汚染として現れるものと考えられる。

それでは現在の母乳汚染、つまり人体汚染は主として何に起因するのであろうか。これについては定説はないが、除草剤や農薬に由来するダイオキシン類による汚染が原因と主張する専門家も少なくない。過去の農薬中のダイオキシン類の分析データは得られないが、最近除草剤のクロルニトロフェン(CNP)中にダイオキシンが含まれていることが確認され、そのデータが公表された¹⁰⁾。CNPについてはその製剤によりダイオキシンの含有量や異性体パターンは異なるが、全体的にPCDFsに比べてPCDDsの含有量が多く、PCDDsの内容としてはOCDDが少なく、1,2,3,7,8-PCDDや1,2,3,6,7,8-HCDDが多い傾向にあり、廃棄物焼却施設から排出される異性体のパターンとは明らかに異なっている。図8に最終有効年が1994年であったCNP乳剤の異性体パターンの例を示す。

VI ま と め

ダイオキシン類の異性体パターンを中心に廃棄物焼却施設から排出されるダイオキシン類の①一般的な人体汚染への関与の度合い、②廃棄

物焼却施設周辺地域住民への影響、③廃棄物焼却施設作業員への影響、④食品中のダイオキシンとの関係について検討した。

その結果、①現在母乳中に含まれているダイオキシンの多くは廃棄物焼却施設以外からの汚染によるものの寄与の割合が非常に高いものと考えられ、②廃棄物焼却施設周辺地域住民の母乳には焼却施設からのダイオキシンの影響は確認されなかったが、③廃棄物焼却施設作業員では明らかに焼却施設からのダイオキシンの直接の影響が認められた。

なお、平成9年度と10年度の食品中のダイオキシン実態調査によれば、全体にダイオキシン類の摂取量は減少傾向にあり、この傾向が続けば体内汚染負荷量は減少していくことが予想されるが、一部の異性体では増加しているものもあり、今後の食品中ダイオキシン濃度の推移と母乳等によるダイオキシンの体内暴露の状況を継続的に観察する必要があると考える。

本稿の要旨は第58回日本公衆衛生学会（1999年10月、大分市）において発表した。

文献

- 1) Environmental Protection Agency: Estimating Exposure to Dioxin-like Compounds, 1994
- 2) 内山厳雄, ごみ焼却とダイオキシン, 公衆衛生 62 (7): 4-8, 1998
- 3) 母乳中のダイオキシン類に関する研究, 主任研究者 多田裕, 平成9, 10年度厚生科学研究
- 4) DRAFT EXECUTIVE SUMMARY, Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake, WHO Consultation, May 25-29 1998, Geneva, Switzerland, WHO European Centre for Environment and Health International Programme on Chemical Safety
- 5) 生活環境審議会廃棄物処理部会・ダイオキシン対策技術専門委員会資料, 平成10年9月
- 6) 平成9年度食品中のダイオキシン類汚染実態調査報告について, 厚生省生活衛生局
- 7) 平成10年度食品中のダイオキシン類汚染実態調査報告について, 厚生省生活衛生局
- 8) CHLORINATED DIBENZODIOXINS AND DIBENZOFURANS (PCDD/F) IN BLOOD AND HUMAN MILK OF NON OCCUPATIONALLY EXPOSED PERSONS LIVING IN THE VICINITY OF A MUNICIPAL WASTE INCINERATOR; E. Deml et al., chemosphere, Vol. 33, No.10, pp. 1941-1950, 1996
- 9) 豊能郡美化センター労働者の血中ダイオキシン類濃度等の調査結果について, 労働省安全衛生部
- 10) 農薬に含まれる毒性のあるダイオキシン類の再確認結果について, 農林水産省農産園芸局植物防疫課

■発売中

表示は本体価格です。
定価は別途消費税が
加算されます。

1999年 国民衛生の動向2,000円

1999年 国民福祉の動向1,700円

1999年 保険と年金の動向1,700円

財団法人 厚生統計協会

〒106-0032 東京都港区六本木5-13-14
TEL 03-3586-3361