

Table 3: Observed(O) and expected(E) numbers of cases, observed/expected(O/E) ratios, 95% Confidence intervals, and P-values for Stone's test and Tango's tests for (a) Foetal death, (b) low birthweight and (c) female live birth

(a) Foetal death (spontaneous + artificial)						
Distance (km)	O	E ^{a)}	O/E	95%CI	P-values ^{b)} of Test for cluster	
					Stone's test	Tango's test
[0, 1)						
[1, 2)						
[2, 3)						
.						
.						
[9, 10)						
[10,)						
Total						

(b) Low birthweight ($\leq 2500g$)						
Distance (km)	O	E ^{a)}	O/E	95%CI	P-values ^{b)} of Test for cluster	
					Stone's test	Tango's test
[0, 1)						
[1, 2)						
[2, 3)						
.						
.						
[9, 10)						
[10,)						
Total						

(c) Sex - Female live birth						
Distance (km)	O	E ^{a)}	O/E	95%CI	P-values ^{b)} of Test for cluster	
					Stone's test	Tango's test
[0, 1)						
[1, 2)						
[2, 3)						
.						
.						
[9, 10)						
[10,)						
total						

a) Expected numbers are adjusted for maternal age, gestational week, total previous deliveries, place of delivery and type of occupation. b) P-values calculated based on 9999 Monte Carlo simulations.

Table 4: Risk pattern

Risk	Risk pattern No.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1	1.1	1.05	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0
R_2	1.0	1.05	1.05	1.1	1.05	1.1	1.1	1.2
R_3	1.0	1.00	1.05	1.0	1.00	1.0	1.1	1.0

Table 5: Powers (%) at the nominal α level of 0.05.

Risk patterns (R_1, R_2, R_3)	Test ^{a)}	Total observed number of cases						
		5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	100,000
(1.1,1.0,1.0)	T	13	20	30	40	50	59	85
	S	11	15	24	32	40	48	77
(1.05,1.05,1.0)	T	13	18	29	39	47	56	81
	S	12	16	25	34	42	49	77
(1.0,1.05,1.05)	T	15	24	44	59	70	80	98
	S	14	21	35	48	59	69	93
(1.0,1.1,1.0)	T	20	34	50	67	79	87	100
	S	15	24	41	58	70	80	97
(1.1,1.05,1.0)	T	18	27	45	60	71	80	98
	S	16	24	40	54	65	74	96
(1.1,1.1,1.0)	T	28	47	73	89	95	98	100
	S	24	41	68	84	93	97	100
(1.0,1.1,1.1)	T	42	69	94	99	100	100	100
	S	33	58	87	97	100	100	100
(1.0,1.2,1.0)	T	57	85	99	100	100	100	100
	S	40	70	95	99	100	100	100

a)Test: T=Tango's test, S=Stone's test;

ごみ焼却施設周辺のダイオキシン類のヒトへの曝露評価に関する研究
(生活安全総合研究事業) 分担研究報告書

研究者 内山巖雄 国立公衆衛生院労働衛生学部長

研究要旨：ダイオキシン類の曝露評価の問題点を検討する目的で、東京都で実施された母乳中ダイオキシン類濃度調査の再検討を行った。都内における一般的な環境でのダイオキシン類の曝露量は平均で 1.02 pgTEQ/kg/day であり、このうち大気からの摂取割合は 11.8%に過ぎない。しかも、食品中に含まれているダイオキシン類量は年々減少しており、焼却施設周辺の大気中濃度が環境庁試算の最悪の場合で 3-4 pgTEQ/m³であったとしても母乳中、あるいは血液中濃度に反映する量は極少量である可能性が示唆された。

A. 研究目的

ダイオキシン類はわが国の様に事故曝露や、職業曝露でなく、汚染源が主に焼却施設の場合は体内への蓄積経路は食事からの摂取が主であると考えられていた。しかし、所沢周辺に産業廃棄物焼却施設が集中し、当初は規制外であったこともあって、煙突から塵灰や臭気を伴うばい煙が排出された劣悪な状況が続いたために、周辺住民のダイオキシン類汚染への不安が高まった。その一つはばい煙の吸入によってもダイオキシン類が体内に高濃度に蓄積されるのではないかという不安であった。その後、いくつかの地域で、母乳中や血液中のダイオキシン類濃度を測定し、居住地と汚染源からの距離との関連を検討することを目的とした調査が行われてきているが、いまだ公表できるデータが不十分であるので、本研究では、著者が参加し、そのデータがすでに公表されている東京都の調査を再検討することにより、曝露評価に関する計画立案の問題点を整理することを試みた。

B. 研究方法

東京都では、平成9、10年度に母乳中ダイオキシン類濃度調査を行っているが、その目的は「母乳中のダイオキシン類等の濃度を測定・分析し、合わせて居住歴、食習慣を調査すること

により、ダイオキシン類の都民への健康影響について把握する」ことである。その調査方法は以下の通りである。

(1) 対象地区：島しょを除く都内全域を調査対象とし、地域的な偏りを避けるため6地区に区分した(表1)

(2) 対象者：都立病院をはじめとする各地区の病産院の協力を得て、原則として対象地区内に5年以上居住する授乳中の母親を下記の要領で同一地域に集中しないように努め、計120名を選定した。

初産婦(第1子を出産し授乳中)：25-29歳、30-34歳、各30名

経産婦(第2子を出産し授乳中)：25-29歳、30-34歳、各30名

(3) 調査時期：平成10年7月から10月に各対象者から出産後30日目に採取した母乳50ml程度を提供してもらい、同時に居住歴、食習慣について聞き取り調査を行った。

(4) 濃度分析の対象物質：ダイオキシン類の29種の異性体、コプラナーPCBの3異性体について分析を行った。検出限界は4および5塩化物では0.02pg/g、6及び7塩化物は0.05pg/g、8塩化物については0.1pg/gで、検出限界以下は、原則として0として計算した。

(5) 分析：統計学的検定は平均値の差の検定はt検定、3群以上の群間の平均の差の検定は一元配置分散分析を行った。また、ダイオキシ

ン類の濃度を従属変数とする重回帰分析を行った。

C. 研究結果

対象者の居住年数の平均値は4.6年、同一地区内の居住年数は13.0年であった。母乳中ダイオキシン類の平均濃度は16.0pgTEQ/g fat で地区別で有意差はなかった。初産婦(18.8 6.6 pgTEQ/g fat)の濃度は経産婦(13.3 5.9pgTEQ/g fat)濃度より有意に高かった(図2)。居住値から最も近い一般廃棄物焼却施設からの距離と初産婦、経産婦の濃度との間に相関は見られなかった(図4、5)

動物性脂肪摂取量(肉類、乳製品、魚介類に含まれる脂肪)と濃度の関係について、一部の食品で有意な関連が見られたが、高い相関係数を示すものはなかった。その他、濃度との関連が考えられる因子(身長、体重、喫煙、受動喫煙等)では有意な相関のみられるものはなかった。多変量解析の結果では、初産婦が経産婦より高く、年齢が高いほど、廃棄物焼却施設からの距離は有意ではないものの距離が遠いほど濃度が低い傾向が認められた。また、経産婦については、乳肉類からの1日あたりの脂肪摂取量が多い者、第1子が混合栄養の者、第1子を出産してからの期間が長い者、第1子の授乳期間が短い者で、濃度が高い傾向が見られ、ダイオキシン類の体内動態からは合理的な結果と考えられた。

D. 考察

東京都の結果は、直接焼却施設周辺の曝露評価を行ったものではないために、対象者の選定に焼却施設からの距離は考慮されていない。また、東京都の場合には、原則的に1区に1ヶ所の焼却施設があり、地区内では複数の焼却施設の影響を受けている可能性があるが、単一の汚染源から曝露評価を行う場合には対象者の選定はもう少し容易になる。しかし、母乳の場合は

約50ml、血液の場合は100mlの検体量が必要となるので、適切な対象者となる協力者を見つけるのは容易ではない。

上記の結果でも分かるように、性、年齢、居住年数(影響が定常状態に達していることを考慮すると10年以上居住していることが望ましい)、生活歴(1日の大半を居住地で過ごしていることが望ましい)を補正し、女性の場合は、更に、出産回数、授乳回数などを補正して対象者を選定し、分析することが重要である。しかし、最も大きな問題は、大気中からの吸入による影響が母乳中、あるいは血液中濃度に反映するためには、大気中濃度が非常に高濃度でない限り、影響を検出するのは困難であるように考えられることである。

東京都では、これまでの食物、水、大気及び土壌のデータから、都内における一般的な生活環境に住む住民(体重50kg)のダイオキシン類の曝露状況の推定を行ってきた。その主な概要は以下に示す通りである。

(1) 食物からの摂取量: トータルダイエット調査から、ダイオキシン類の一日総摂取量は42.1pgTEQ/dayであった。体重1kg当たりの1日摂取量は0.84pgTEQ/kg/dayとなった。

(2) 水からの摂取量: 1日2リットルの水を飲むとして計算するが、都内の主要3水系の水道水中のダイオキシン類濃度はいずれも検出限界以下であったので、水からの摂取量は0とした。

(3) 大気からの摂取量: 1日の呼吸量を15m³/day、吸収率を100%と仮定して計算すると、都内の大気中ダイオキシン類濃度は0.40pgTEQ/m³(0.22 - 0.79pgTEQ/m³)であった。

(4) 土壌からの摂取量: 土壌からの摂取量は、米国環境保護庁の試算による式を用いて、児童期(2-6歳の5年間)及び生涯(70年間)の経口摂取量と皮膚接触による摂取量とによって推定した。都内の土壌中のダイオキシン類濃度の平均は14pgTEQ/g(1.3 - 43pgTEQ/g)であった。体重1kg当たりの1日摂取量は平均0.056pgTEQ/kg/day、最大0.17pgTEQ/kg/day

であった。

これらの結果を総合すると、都内の一般的な環境でのダイオキシン類の曝露量は平均で 1.02pgTEQ/kg/day である。このうち、大気からの摂取割合は $0.12/1.02 \times 100 = 11.8\%$ にすぎない。しかも、食品中に含まれているダイオキシン類量は年々減少しており、1996年の環境庁の試算の時には大気からの寄与率は約5%である。したがって、従来の汚染状況から考えて、焼却施設周辺の大気中濃度が最悪の場合3-4pgTEQ/m³（環境庁試算）であったとしても母乳中、あるいは、血液中濃度にはなかなか反映しないのではないかと危惧される。しかし、今後食物からの摂取量が減少してくれば、大気中からの摂取量の差が血液中あるいは母乳中の濃度に影響してくる可能性は高い。また、吸入による影響と経口による影響が同じであるかについての研究はほとんどされていない。更に、土壤中の濃度に関して、能勢町の焼却施設周辺の調査結果（図6）でも解るように、汚染源が単一であれば、距離に反比例することが示されていることから、極めて小さいと考えられるダイオキシン類の健康影響を検討するには大規模な疫学調査の必要性が極めて大きいと考えられる。

なお、本研究は、日本におけるダイオキシン類の曝露調査が少ない点を鑑み、公表されている貴重な東京都の調査結果を再検討することにより、ごみ焼却施設周辺の曝露評価に関する情報を得る目的で行われたものである。したがって、調査対象者からは本研究への同意は得ていないが、個人のプライバシーを侵害するもの

ではないことから倫理上の問題はないとした。

E. 結論

東京都の調査結果から

- (1) 都内の一般的な環境でのダイオキシン類の曝露量は平均で 1.02pgTEQ/kg/day である。このうち、大気からの摂取割合は $0.12/1.02 \times 100 = 11.8\%$ にすぎない。
- (2) 大気からの摂取割合は $0.12/1.02 \times 100 = 11.8\%$ である結果と、環境庁の試算の大気からの寄与率は約5%であることから血液中濃度に大きく反映する可能性は小さい。
- (3) しかし、多変量解析の結果で廃棄物焼却施設からの距離は有意ではないものの距離が遠いほど濃度が低い傾向が認められたことと、土壤中の濃度に関して、汚染源が単一であれば、距離に反比例することが示されていることから、極めて小さいと考えられるダイオキシン類の健康影響を検討するには大規模な疫学調査の必要性が明らかになった。

F. 研究発表

学会発表

内山徹雄. ごみ焼却施設周辺の暴露評価とその方法—計画立案時の問題点. 日本計量生物学会・応用統計学会1999年度合同年次大会, 特別セッション「ダイオキシンのリスク評価」(招待講演), 167-170, 東京, 1999.

表 1. 調査対象の 6 地域の内訳

地 域	区 市 名
特別区1(区部近傍工業地域)	大田、品川
特別区2(区部中心住居地域)	千代田、中央、港、文京、台東
特別区3(区部周辺住居地域1)	江戸川、墨田、江東、足立、荒川、葛飾
特別区4(区部周辺住居地域2)	豊島、北、板橋、練馬、新宿、中野、杉並、渋谷、目黒、世田谷
多摩地区1(多摩部住居地域1)	立川、昭島、国分寺他の北多摩
多摩地区2(多摩部住居地域2)	青梅、福生、あきる野他の西多摩及び南多摩

図 1. 初産・経産別ダイオキシン類等の濃度分布

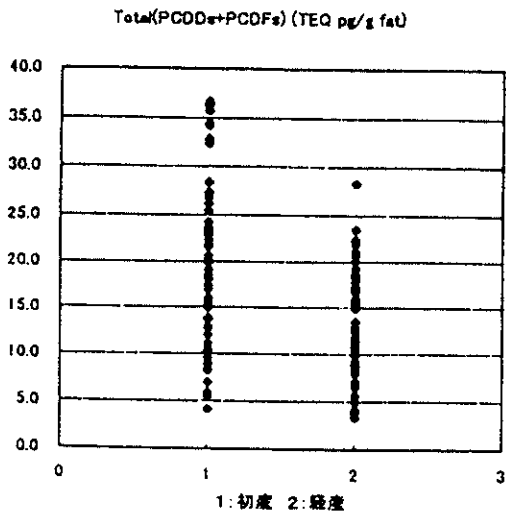


図 2. 第 1 子の栄養別ダイオキシン類等の濃度分布

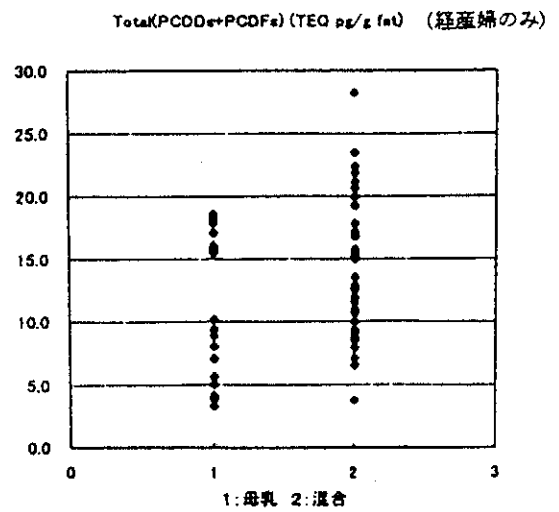


図3. 年齢とダイオキシン類等の濃度との関係

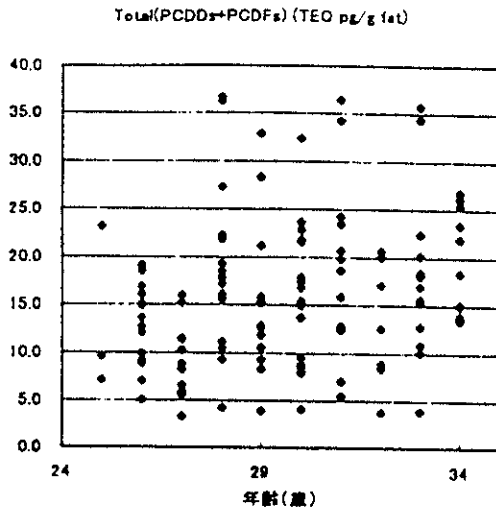


図4. 焼却場の距離と母乳中のダイオキシン類濃度

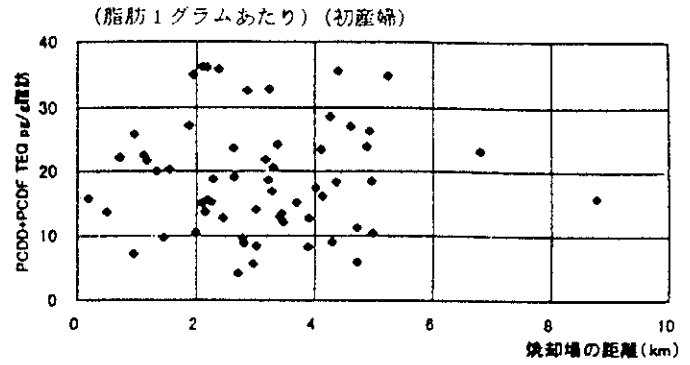


図5. 焼却場の距離と母乳中のダイオキシン類濃度

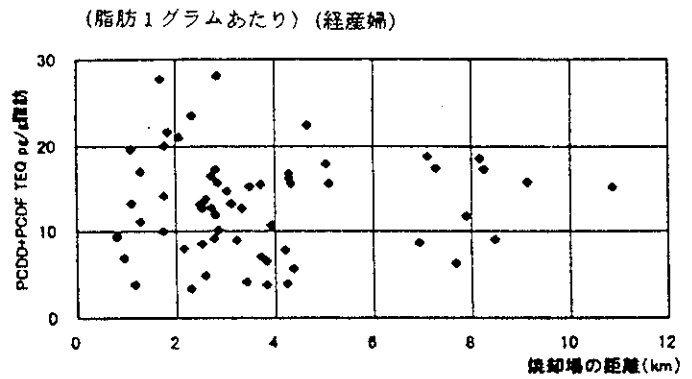
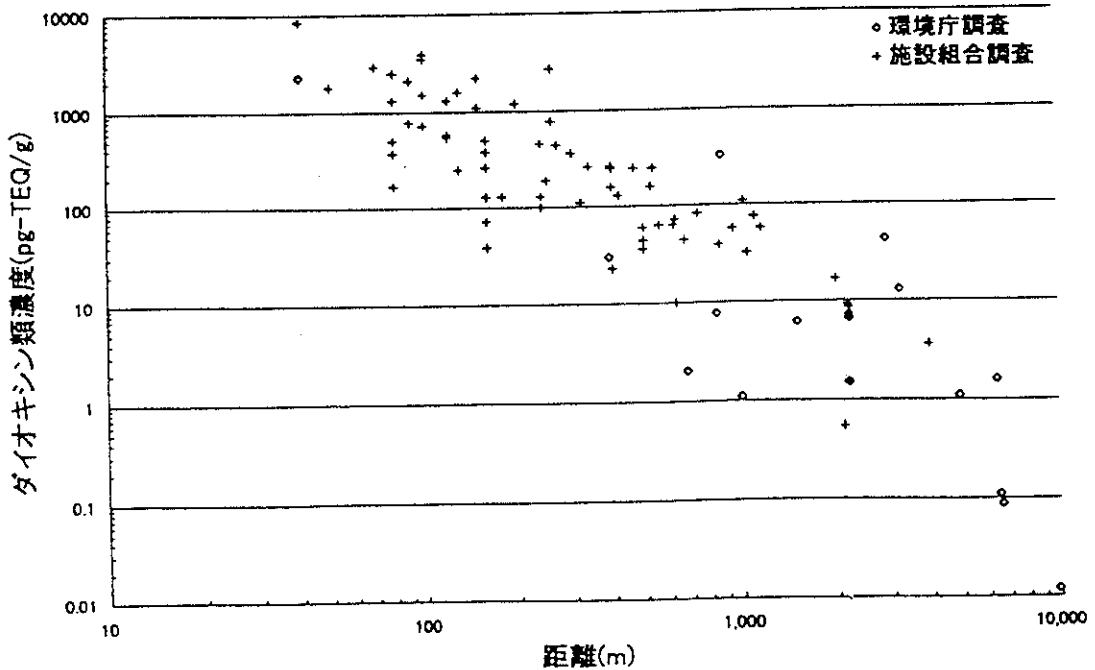


図6 豊能郡美化センターからの水平距離と土壌中のダイオキシン類濃度との関係



ごみ焼却施設周辺のダイオキシン類の着地濃度と発がんリスクに関する研究
(生活安全総合研究事業) 分担研究報告書

研究者 田中勝 国立公衆衛生院廃棄物工学部長
研究者 国包章一 国立公衆衛生院水道工学部長

研究要旨：焼却施設から排出される排気ガス中のダイオキシン類について定量的なリスクアセスメントを行う目的として、今回の研究班が調査対象としている全国73施設の焼却施設の平均的な煙源（焼却炉）からの距離とダイオキシン類の着地濃度との関係を検討するため、拡散計算を行った。更に、推定された着地濃度から発がんリスクを計算した。

A. 研究目的

今回の研究班が調査対象としている全国73施設の焼却施設の平均的な煙源（焼却炉）からの距離とダイオキシン類の着地濃度との関係を検討するため、拡散計算を行い、焼却施設に由来するダイオキシン類の定量的なリスクアセスメントを行うことを目的とする。

B. 研究方法

(1) 拡散計算：全連続炉での平均的な煙突条件の場合の例として、煙突の高さ6.4m、排ガス温度214°C、295トン/dayの焼却炉を想定する。ただし、排出濃度は0.1ng/Nm³(I-TEQ)とした。

(2) 炉形式別のダイオキシンの発がんリスクの計算：全連続炉、准連続炉およびバッチ炉の3つの炉形式別に煙源条件（表1）およびダイオキシンの排出強度（表2）を設定し、ダイオキシンの最大着地濃度および最大摂取量を試算して焼却施設由来のダイオキシンの発がんリスクについて検討をおこなう。

C. 研究結果

拡散計算の結果を図1に示した。全連続炉、准連続炉、およびバッチ炉の炉形式別に施設周辺の発がん増加数、最大着地濃度、最大摂取量

を試算した結果を表3にまとめて示した。ここでは、(1)施設周辺の発がん増加数については全国の施設を合計した値、(2)最大着地濃度については炉形式別の年間平均最大着地濃度の最大値、最小値、および平均値、(3)最大摂取量については、最大着地濃度に対応する最大摂取量の最大値、最小値、および平均値で示した。また、准連続炉における施設規模と最大摂取量との関係について試算した結果を図2に示した。

表3に示したように、日本全国における焼却施設由来のダイオキシン類による生涯発がん増加数は全連続炉405施設全体で5.9人、准連続炉309施設全体で1.8人、バッチ炉999施設全体で6.2人であり、全人口1億4,000万人に対し、14人となった。

また、各施設周辺の集団に対する生涯発がん増加数（生涯を70年と仮定）の分布を炉形式別にみると、全連続炉で0.0026 - 0.20人、准連続炉で0.00045 - 0.034人、バッチ炉で0.000083 - 0.078人となっており、全施設平均で0.0008人となった。1年あたりの増加数はこれらの値を70で割ることにより得られる。

D. 考察

今回の推定結果を検証する一つの方法として、観測されている大気環境中のダイオキシン類の濃度と今回の推定結果を比較してみた。本来は

特定施設について推定結果と観測値を比較すべきであるが、今回は文献値との比較を試みた。

環境庁が 1992 年に実施した大気汚染モニタリング調査によれば、ダイオキシン類の大気中濃度は、工業地帯近傍では 53.9 pg/m³、大都市地域 56.7 pg/m³、中小都市 45.5pg/m³、バックグラウンド地域 2.6 pg/m³ であった。ごみ焼却施設排ガスの I-TEQ は PCDDs/PCDFs 濃度のおよそ百分の一程度となることから、大気環境中の I-TEQ は 0.02 - 1 と推定される。これらの値と、焼却炉由来のダイオキシンの最大着地濃度の平均 0.17pgTEQ/m³ を比較すると同レベルであるが、他の発生源があると考えれば矛盾しないと考えられる。言い換えれば、ごみ焼却施設がダイオキシン類のバックグラウンド値に大きな影響を与えるとは考えにくい。

ごみ焼却施設に由来するダイオキシン類の大気経由の吸入摂取に関する全国での生涯発がん増加数は、全人口に対し 14 人、年間あたり 0.2 人の増加となるが、この値は、たとえば現在の全人口に対する生涯発がん数と比較されるべきであるが、現在のがん罹患率から考えても直感的には極めて低いレベルであると思われる。このように曝露集団を全人口と仮定しても、大気経由の吸入によるリスクは極めて低いレベルとなる。更に、曝露集団を各施設周辺人口としても生涯発がん増加数は 0.000083 - 0.2 人、全施設平均で 0.008 人であり、これも極めて低いレベルであると言える。

次に、最大許容摂取量 RsD との比較を検討しよう。もっとも高いリスクを被る集団のリスクについて吸入摂取量、すなわち年間平均最大

吸入摂取量は全施設で最大 0.044pgTEQ/kg/day、平均 0.015 pgTEQ/kg/day、最小 0.0007 pgTEQ/kg/day であり、米国 CDC の RsD 0.03pgTEQ/kg/day と比較してもおおむね同程度であることが解る。

ごみの焼却施設から排出される排ガス中のダイオキシン対策として、発生抑制のためのガイドラインも出され、改造や新設炉によって排出濃度はかなり低減されてきた。今回は、排ガス濃度は最大でも 14ngTEQ/Nm³ くらいまで低下されているとしてリスクを計算した、それぞれの焼却施設ごとにリスクは異なるはずである。また、今回の検討では発がんリスクについて検討したが、より影響感度の高い生殖関連リスクについては行っていない。この意味でも周産期の健康影響リスクを検討する本研究事業の意味は大きい。

E. 結論

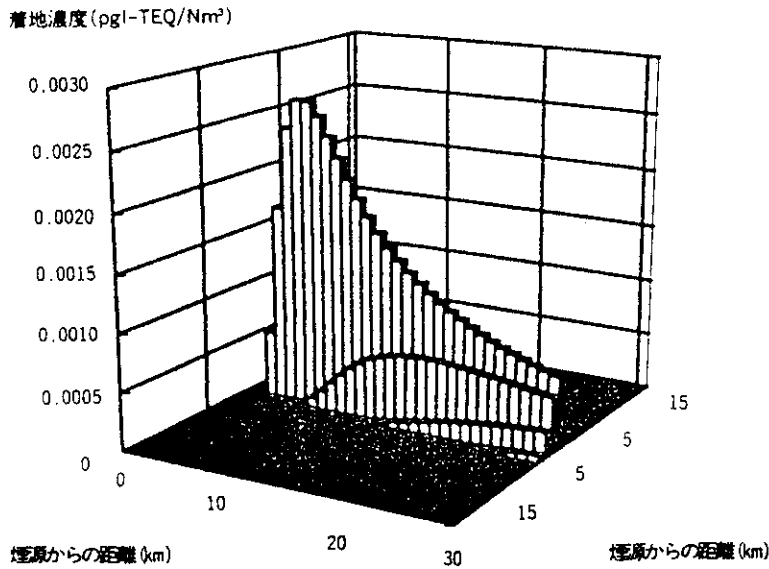
ごみ焼却施設に由来するダイオキシン類の大気経由の吸入摂取に関する全国での生涯(70年間の)発がん増加数は、全人口に対し 14 人、年間あたり 0.2人の増加となった。この値は、現在のがん罹患率から考えても直感的には極めて低いレベルであることがわかった。

F. 研究発表 なし

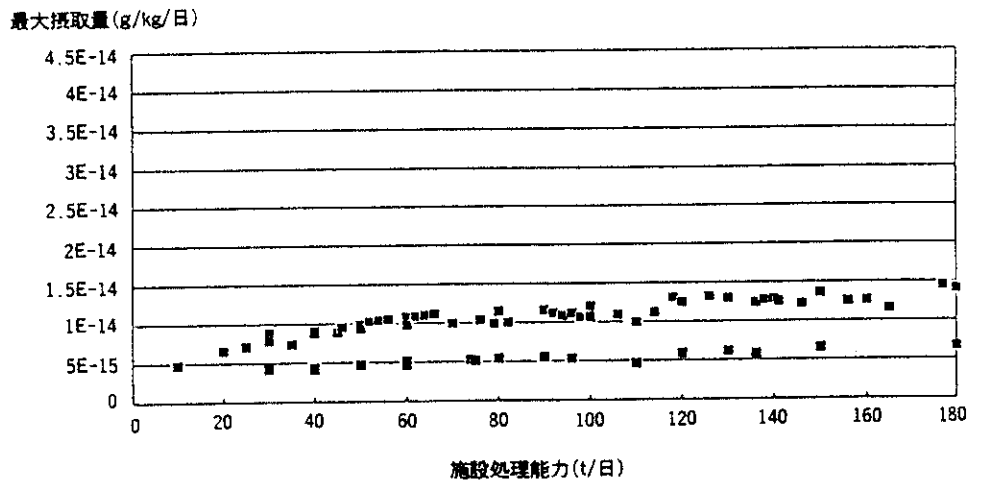
(協力研究者)

池口 考 (国立公衆衛生院廃棄物工学部室長)

●図1 拡散計算の例（排出濃度0.1ng/Nm³の場合）



●図2 准連続炉におけるダイオキシンの最大摂取量（摂取量はTEQ、E-14g=0.01pg）



●表1 煙源条件の設定

項目	データの出所	備考
ダイオキシン類排出濃度	a	全連続炉、准連続炉、バッチ炉の別 流動床、ストーカの別 EP（電気集塵機）、BF（バグフィルター）の別に平均値を与える （表2参照）
焼却量当たり乾き排出ガス量	b	平均値6,368Nm ³ /t(1,691~20,533Nm ³ /t)を与える
施設1日処理能力	b,c,d	各施設ごとの実際値を与える
焼却量当たり湿り排出ガス量	b,c	平均値9,051Nm ³ /t(1,867~38,556Nm ³ /t)を与える
排出ガス温度	a,b,e	平均値214°C(114~297°C)を与える
煙突高さ	b,c,e	全連続炉および准連続炉：1炉当たり処理能力ごとの平均値 バッチ炉：入手データ(e)の平均値44.7m(25~59m)を与える

a: 廃棄物研究財団が平成4年度に実施したアンケート調査結果
 b: ごみ焼却施設台帳(准連続焼却方式)平成5年版、廃棄物研究財団
 c: ごみ焼却施設台帳(全連続焼却方式)平成3年版、廃棄物研究財団
 d: 廃棄物処理施設データブック昭和63年版、環境産業新聞社
 e: 日本環境衛生センター資料(個々の施設の環境影響評価書)

●表2 ダイオキシン類排出強度の設定値

方式	形式	集塵装置	I-TEQ 排出濃度 (ng/Nm ³)	データ数
全連続炉	ストーカ	EP	2.36	17
	流動床	EP	12.23	6
	ストーカ	BF	0.42	11
	流動床	BF	0.42 ¹⁾	
准連続炉	ストーカ	EP	6.02	6
	流動床	EP	6.02 ²⁾	
	ストーカ	BF	2.85	5
	流動床	BF	2.85 ²⁾	
機械化バッチ炉		EP	13.66	5
固定床バッチ炉		BF	13.66 ³⁾	
			13.66 ³⁾	

1) 全連続炉のBFはストーカと流動床で同じ値を用いる

2) 准連続炉は、ストーカと流動床で同じ値を用いる

3) バッチ炉はすべて共通の値を用いる。バッチ炉のデータのうち、2つは機械化バッチ炉のBFの値を含む

●表3 炉形式別の集団リスクおよび最大着地濃度、摂取量(濃度はI-TEQとして)

		全連続炉	准連続炉	バッチ炉	合計/平均/最大/最小
施設発がん増加数	人	5.9	1.8	6.2	13.9
最大着地濃度平均	pg/m ³	0.06	0.11	0.23	0.17
最大着地濃度最大	pg/m ³	0.32	0.16	0.49	0.49
最大着地濃度最小	pg/m ³	0.008	0.045	0.043	0.008
最大摂取量平均	pg/kg/日	0.006	0.011	0.021	0.015
最大摂取量最大	pg/kg/日	0.029	0.015	0.044	0.044
最大摂取量最小	pg/kg/日	0.0007	0.0041	0.0039	0.0007
施設数		405	309	999	1713