

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

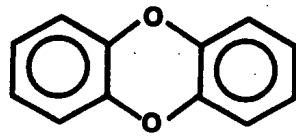
千馬 正敬、中村 剛、戸田 清、吉川 勲、
高辻 俊宏、石崎 勝義、近藤 久義、森 弘行

1節 ダイオキシン類について

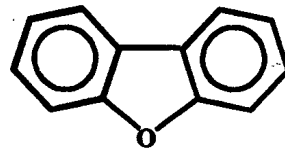
私達は、以前の世代にはなかった多種類の化学物質を体内に蓄えている。これは人類の歴史において空前のできごとである。その中でもダイオキシン類を含む内分泌かく乱物質（環境ホルモン）による汚染は、これまで気づかなかった「新たな毒性」の問題として大きな関心を集めている。「ダイオキシン」または「ダイオキシン類」という言葉は多くの人が、マスメディアを通して見聞きし周知のことと思われる。化合物群の総称であるので、正確には「ダイオキシン類」というのが正しい表現である。

ダイオキシン類は、ポリ塩化ジベンゾパラジオキシン（polychlorinated dibenzo-p-dioxins、略名PCDD）、ポリ塩化ジベンゾフラン（polychlorinated dibenzofrans、略名PCDDD）、コプラナーポリ塩化ビフェニール（coplanar polychlorinated biphenyls、略名Co-PCB）など3種類の化合物群の総称である（図1）。これらの化合物群がダイオキシン類と称されるのは、相互に類似した物理化学的性質と生物学的作用を持ち、環境や生体を汚染するからである。

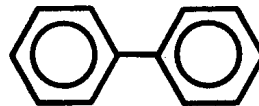
ダイオキシン類のうち、PCB類はカネミ油症の原因物質として特定され、1972年に製造中止になった。また、ダイオキシン類の約6割は、農薬類で占められ、DDT、ディルドリン、アルドリン、クロルデンなどは、体内に蓄積しやすいために、1970年代に製造や使用が禁止された。しかしながら、ダイオキシン類は、土壌、河床、大気中などの自然界にわずかだが普遍的に存在する。主な発生源は廃棄物の焼却炉であり、塩素を含んだ廃棄物の燃焼過程において



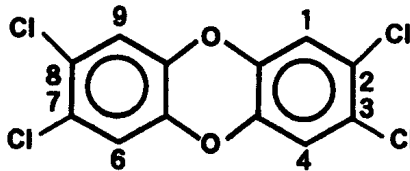
ジベンゾダイオキシン類



ジベンゾフラン類



塩化ビフェニール類 (PCBs)



2,3,7,8-テトラクロロジベンゾ-p-ジオキシン

図1 3種類のダイオキシン類と最も毒性の強いダイオキシン、
2, 3, 7, 8 - TCDD

生じ、原理的にはその発生を制御することが可能である。

2節 ダイオキシン汚染の被害

ダイオキシン汚染による最初の被害は、ベトナム戦争の対ゲリラ作戦として、1962～1971年にかけて多量の枯れ葉剤が南ベトナムの森林地帯に散布されたことに始まったとされている。枯れ葉剤の主成分は2, 4, 5-Tと呼ばれる除草剤であり、この主成分は1か月もすると分解してしまうが、その中に含まれている不純物のダイオキシン、2, 3, 7, 8-テトラクロロジベンゾ-p-ダイオキシン (略名2, 3, 7, 8-TCDD)、が残留して、南ベトナム地域に広範囲でかつ重度のダイオキシン汚染をもたらし、人体汚染の例として空前絶後の出来事となった。

ベトナムの枯れ葉剤散布地域では、先天奇形、死産、流産、胞状奇胎、新生児死亡などの生殖障害が発生した。先天奇形には、四肢の癒合や欠損、無脳症、二重胎児、口蓋裂などが多くみられた。また、出産直後に死亡することも

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

多かったと報告されている。

2つ目は、1971年にアメリカ・ミズーリ州において起こったもので、馬の演技場の土ぼこりを防止するために散布された化学工場のプラント廃液中に2, 3, 7, 8-TCDDが高濃度に含有されていたために起こった人体汚染であり、週に2～3日乗馬をしていた少女が鼻血、頭痛、腹痛、下痢などの症状が見られた。特に、馬に強い障害が起り、散布後2年間で48頭が死亡した。

3つ目は、イタリアのセベソで、殺菌剤であるトキサフェンの中間原料を製造するプラントが暴走し2, 3, 7, 8-TCDDを高濃度に含む反応物質がこの地域を汚染した。

ダイオキシンの毒性の強さは、第1級であり、有機リン系神経性毒ガスのサリンの2倍、シアン化カリウム（青酸カリ）の1000倍の毒性がある。僅か1gで1万7千人を死に至らしめることができるといわれている。

なお、我が国における、ダイオキシン汚染で過去に有名なことがらは、先に述べたように1968年に起こったカネミ油症があり、米ぬか油で調理した食事による汚染である。この原因物質の究明は容易ではなかったが、約20年の期間を経てポリ塩化ジベンゾフラン（polychlorinated dibenzofrans, 略名PCDF）であることが解明された。

このようにダイオキシン類が深刻な健康被害をもたらすことから、1998年、健康影響リスク（危険度）を評価するために、世界保健機構（WHO）が世界の15か国から40人の専門家を集めた。

3節 ダイオキシン類の毒性等価係数

1976年のセベソ事件以来、この環境化学物質は、常に人への毒性という観点からニュースの脚光を占めてきたが、実際の効果の程度については現在でもそのすべてが明白であるとは言えない。ダイオキシン類は、コプラナーPCBを含めて、222種の異性体が知られている。これらのダイオキシン類は、それぞれ程度の差がある毒性を有しているが、最も毒性が強いダイオキシンは、前述した2, 3, 7, 8-TCDDである（図1参照）。これらダイオキシンの各種の異性体の毒性の強さは、この2, 3, 7, 8-TCDDの毒性を基準にして

表すことになっている。これを2, 3, 7, 8-TCDD毒性等価係数 (toxicity equivalency quantity, TEQ) と言い (表1)、例えば4 pg TEQのように表記される。

表1 最強毒性を持つ2, 3, 7, 8-TCDDを1としたときの各ダイオキシン類の毒性の強さ

化合物	毒性等価係数	化合物	毒性等価係数
<i>Dibenzo-p-dioxins</i>		<i>Non-ortho PCBs</i>	
2,3,7,8-TCDD	1	PCB 77	0.0001
1,2,3,7,8-PnCDD	1	PCB 81	0.0001
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	PCB 126	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	PCB 169	0.01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1		
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	<i>Mono-ortho PCBs</i>	
OCDD	0.0001	PCB 105	0.0001
<i>Dibenzofurans</i>		PCB 114	0.0005
2,3,7,8-TCDF	0.1	PCB 118	0.0001
1,2,3,7,8-PnCDF	0.05	PCB 123	0.0001
2,3,4,7,8-PnCDF	0.5	PCB 156	0.0005
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	PCB 157	0.0005
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	PCB 167	0.00001
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	PCB 189	0.0001
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		

4節 ダイオキシンの耐容1日摂取量 (TDI)

ダイオキシンの健康影響については、1990年以降においても、国際的に様々な調査・研究が実施・継続されてきた。PCDD、PCDF、PCBなどのダイオキシンの健康へのリスクの可能性を評価するとともに、これらの化学物質の健康影響評価 (図2) と一般市民への暴露を防護するための包括的な計画案を策定する必要があり、これらのためにダイオキシンについてのリスク評価 (ある条件下で障害が起こる確率) を行うことが重要な課題であった。このため

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

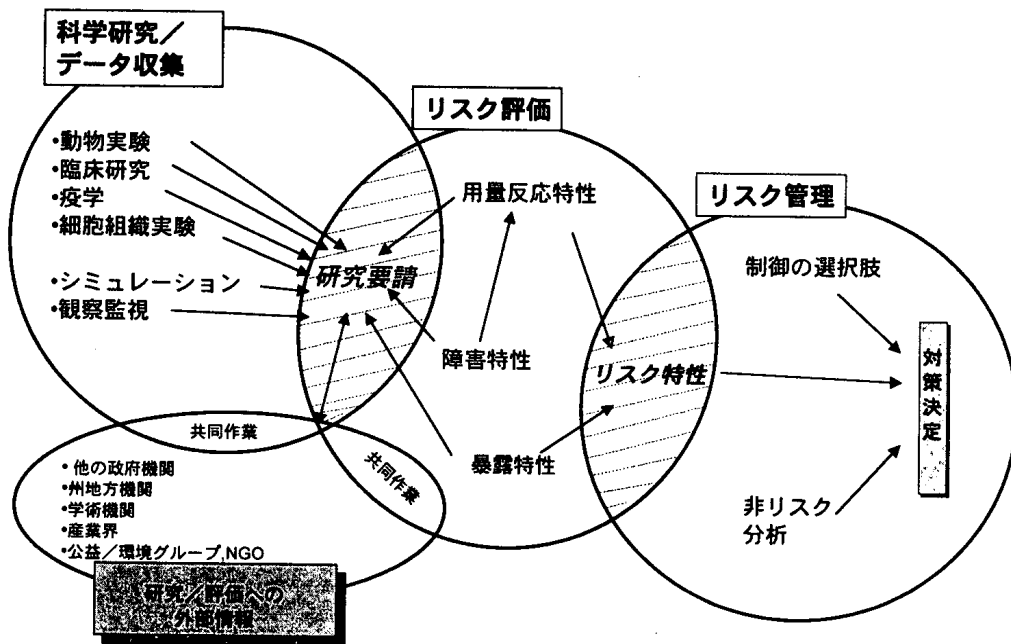


図2 健康影響評価のプロセス

WHO環境健康ヨーロッパセンター（WHO-ECEH）は、国際化学物質安全計画（IPCS）と共同で、1990年以降蓄積された新しい科学的知見に基づきTDIを見直すために、1998年に会合を開催した。

化学物質の多くは、人間の健康に有害であるが、問題となるのは、ヒトの健康に影響を及ぼすのが、どの程度の量であるかを明確にすることであり、障害の種類ごとにリスクを区別して検討する必要がある。これらを包括したリスク評価を行うことにより、新しい化学物質を安全に管理できることにつながる。

前回、オランダのビルトホーベンで1990年に開催された会議では、2，3，7，8-TCDDに換算したダイオキシン類の耐容1日摂取量（TDI：Tolerable Daily Intake、一生涯とり続けても健康に影響が無いとされる量）を体重1kg当たり10pgと定めた（1ピコグラム：1兆分の1グラム）。その後、ダイオキシンの神経系発達阻害と内分泌系への顕著な影響を示す新たな疫学データが得られたので、WHOのダイオキシン専門委員達はTDIの再評価を行うために、ジュネーブにて会議が開催され、十分な議論の結果、専門家達は体重1kg当たり1～4pgの基準の設定が行われた。しかし、発展途上国の一般国民においては、平均2～6pgの暴露を有する集団があり、既にダイオキシン類によると考えられる微妙な影響が生じていることが確認されている。

それゆえに、WHOのダイオキシン専門委員会は、関係諸機関に、暴露量を最小可能量になるよう努力することを要請した。

その専門家会議における文書では、疫学調査、毒性学、障害発生の機構を通して、ダイオキシン類の人や動物への発がん性及び非発がん性（図3）、母乳を通して高濃度のダイオキシンを摂取することによる乳幼児への危険、人体におけるダイオキシンの分布と代謝（図4）、ダイオキシン類の生体における分子反応（図5）、国別の暴露状況とそれぞれのリスク評価法について詳しく述

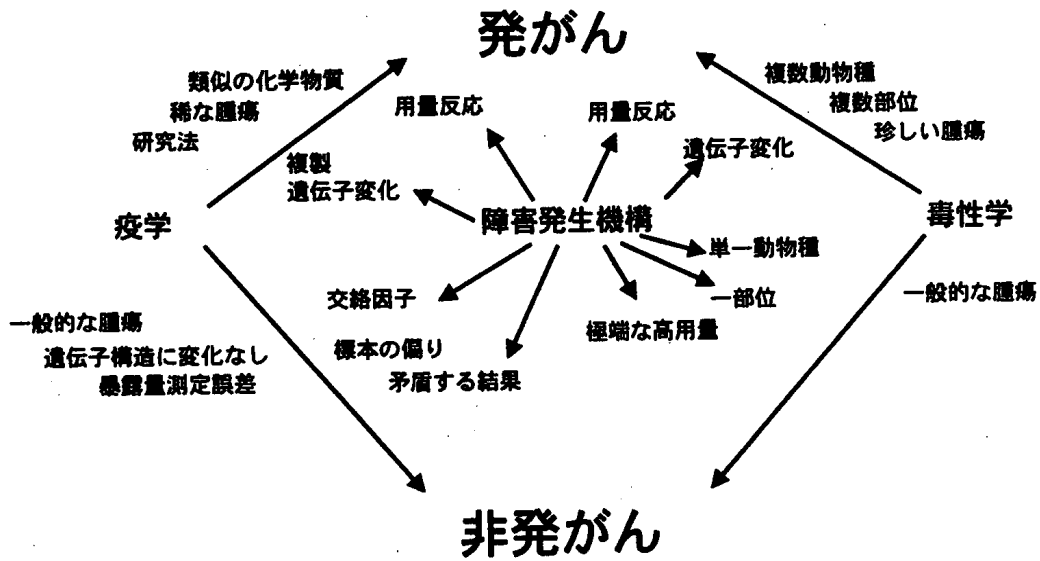


図3 環境健康影響評価の概念図

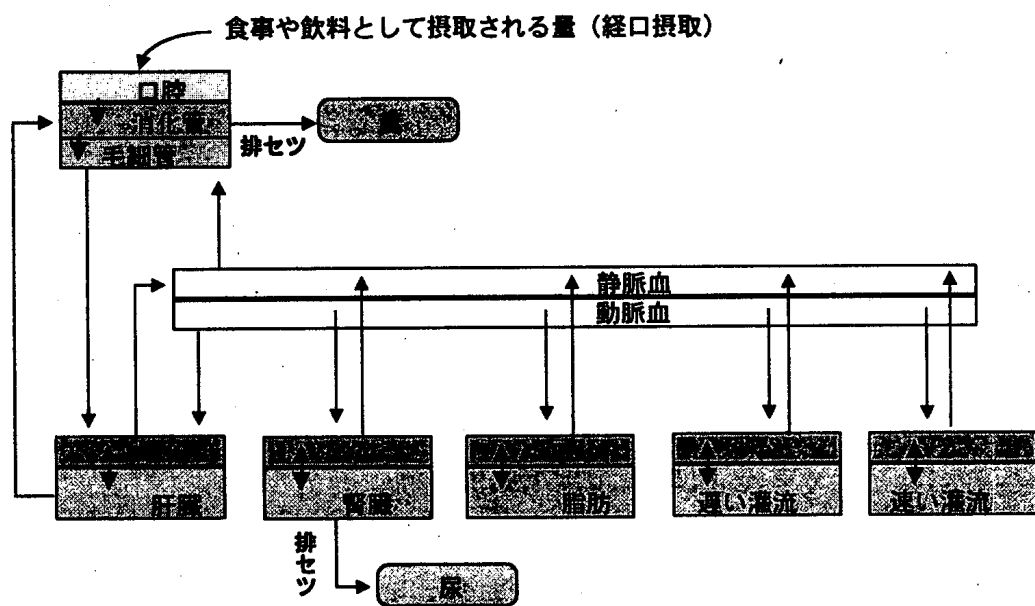


図4 体内でのダイオキシン分布と代謝

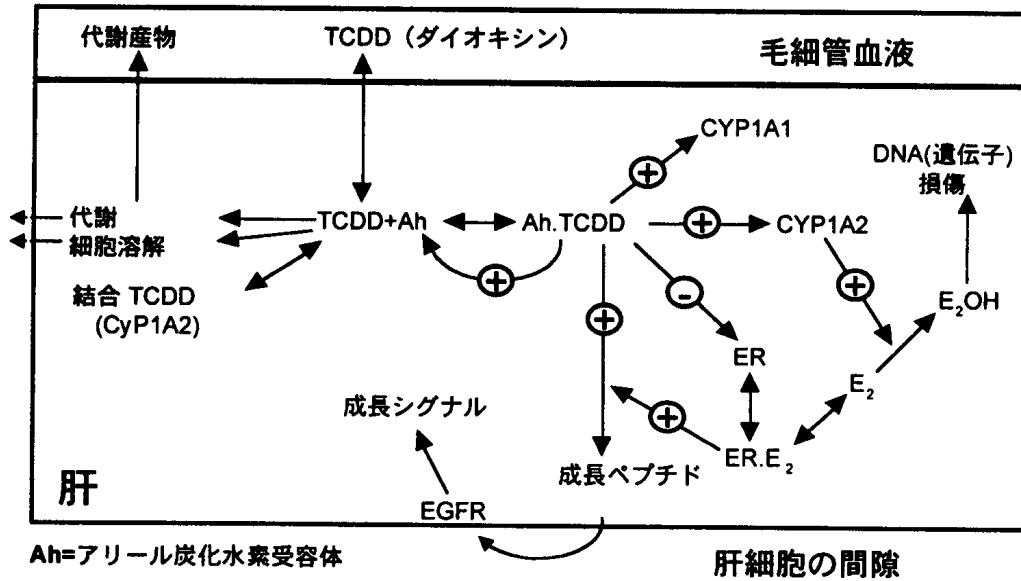


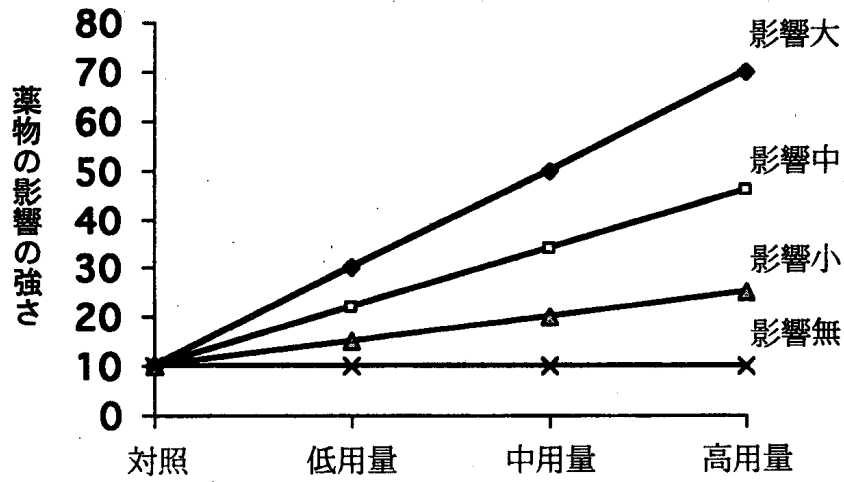
図5 ダイオキシンの生体内での分子反応

べられている。それらの結果、とられた対策により、WHO化学物質安全促進計画リスク評価部門のYounes部長は「最近の暴露状況データによれば各国のダイオキシン放出制限策はかなりの成功を収めており、それは母乳におけるダイオキシン量の顕著な減少（WHO-ECEH調査）に反映し、早く制限策を導入した地域ほど減少率の高いことから、ダイオキシン放出制限策が有用であることが推察される」と述べていることは注目に値する。

5節 耐容1日摂取量（TDI）の算定原理

ところで、ダイオキシンのリスク評価の基本となるTDIは次のような原理に基づいて算定される。まず、用量反応関係の評価をダイオキシンの濃度を変えて、影響のデータを収集し（図6 A）、次に薬物量に依存する影響の現れ方（図6 B）の信頼性の高い研究データを収集し、その上で最も低用量で反応を示した症状の無毒性量（NOAEL）と最小毒性量（LOAEL）を用いる（図7）。表2は実験動物による結果である。LOAELは、その動物の体内負荷量、すなわち体内に取り込んだ量から代謝により排出される量を引いた残存量のことで、その値から体重当たりの体内負荷量が同じになるような1日当たりの摂取量として14～37pg/体重1kg/1日が算出された。代謝の程度は動物

A. 同じ薬物でも調べる指標によって影響の強さが異なる



B. 薬物の濃度によって、影響の現れる頻度曲線が異なる

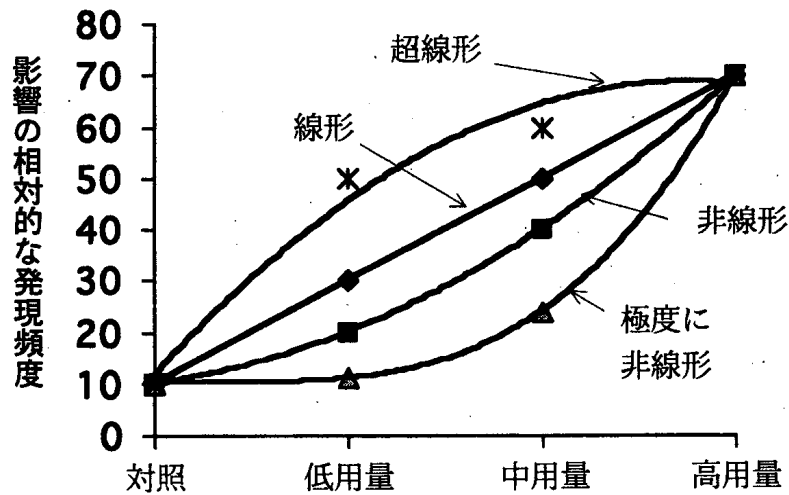
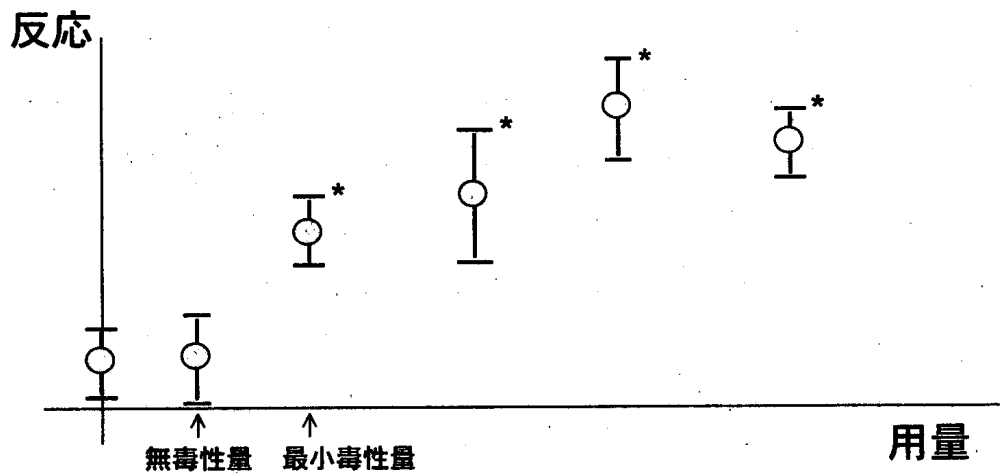


図6 用量反応関係の現れ方



*統計学的に有意な差(実質的な毒性)がある用量

図7 無毒性量と最小毒性量

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

により異なるが、この14～37pgという範囲はラットへダイオキシン類の試薬を与えた実験で見られた結果や、猿に4年間食事と共にダイオキシンの試薬を与えた実験でみられた結果のデータに基づいている。

特定の値に絞り込むのは現在の知見からは困難なので、幅をもった値でダイオキシン類の健康影響の指標とすることになっている。しかし、この幅は不確実性を含んでいる。例えば、①本来、NOAELを用いることが適当であるにもかかわらず、LOAELを用いた点、②ダイオキシン類に対する実験動物と人間との感受性の違いがあり得るにもかかわらず、これを無視した点、③同じヒトでもダイオキシン類への感受性や代謝率には違い、いわゆる個人差があるにも関わらず、これらを無視した点、である。一方、ダイオキシン類に対するヒトと実験動物との感受性については、幾つかの症状に関する限り余り大きな差はないという点が認められている。

以上のことから、不確実係数を余り大きくする必要はないことが示唆され、通常LOAELはNOAELの2～3倍位である。その結果、毒性試験の結果をヒトに換算するに当たって、投与量を直接用いるのではなく、体内負荷量に換算して当てはめる考え方を導入した。その上で、最も低い体内負荷量で毒性がみられた毒性試験の結果に基づいて算定した数値をヒトのLOAELとした。したがって、LOAELを基にしたダイオキシン14～37pg/体重1kg/1日を不確実係数10で割ってTDI 1～4 pg/体重1kg/日が得られる。(表2)

表2 動物実験による最小毒性量

研究者名	反応 (最小毒性量 LOAELs)	動物母体の体内摂取量 (ng/体重1kg)	人間に換算した 1日摂取量 (EDI) pg/体重1kg/日
Gray 他 1997a	ラット：子における精子数の減少	28	14
Gehrs 他 1997b; Gehrs & Smailowicz 1998	ラット：子における免疫抑制	50	25
Gray 他 1997b	ラット：子における生殖器形態異常の増加	73	37
Schantz and Bowman, 1989	サル：子における神経行動学的(対象学習)影響	42	21
Rier 他 1993	サル：子宮内膜症	42	21

TDIは生涯にわたって摂取する量と定義されており、短期間であるならば、これを越える量を摂取しても有害な効果を発揮しないであろうと考えられている。工業国の一部では現在の摂取量水準（2～6 pg/kg）と体内負荷量（4～12 ng/kg）でも微妙な変化が起きつつある兆候がみられるが、その変化は余り有害なものではなく、またダイオキシン類以外の影響の可能性もあるので、暫定的な基準としては許容できるという結論になっている。現時点では、WHOとしては、上限の4 pgは最大許容摂取量であり、将来1 pgにまで低減すべきであるとしている。

以上のことを踏まえて、我が国においてもダイオキシンの体内負荷量を減らすためには、食物連鎖で運ばれるダイオキシン類の環境中への放出を極力抑える措置が不可欠である。

6 節 日本における耐容1日摂取量（TDI）

今年（平成11年）、我が国においてダイオキシン類のTDIが修正公表され、社会的に強い関心を呼んでいる。それは1998年にWHOが専門家会議を開催し、新たな蓄積データを解析した結果に基づき、TDIを1～4 pg/体重1 kg/日とする提案がなされたことによる。これを受けて、同年6月29日厚生省ダイオキシン類健康影響評価特別部会会議が開催され、11月には厚生省と環境庁の合同協議会が開催され、1999年6月に耐容1日摂取量4 pg/体重1 kg/日が正式に提案され、7月には参議院において「ダイオキシン対策法」として法制化された。内容は体重1 kgあたり4ピコグラム毒性等量以下のダイオキシン類ならば、生涯毎日取り続けても健康に影響がないとされている安全基準である。

しかし、米国国立環境健康科学研究所部長のPortier博士によれば、ダイオキシン類は、ヒトを含むほ乳類への害作用を避けるためには、暴露を、1 pg/体重1 kg/日に以下に抑えることが望ましい。ただ博士は、現時点における暴露量削減の難しさを考慮すれば、4 pg/体重1 kg/日以下としてもやむをえないであろうとも語っている。

従来、我が国において10 pg/体重1 kg/日（厚生省）と5 pg/体重1 kg/

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

日（環境庁）の2つの基準値があり、この度、両省庁が基準値を統一し、今後は4 pg/体重1 kg/日という数値を基に、土壌・水・大気中のダイオキシン類濃度の環境基準が検討されることになった。現在、日本人の平均的なダイオキシンの摂取量は体重1 kgあたり約2.6 pgで基準値の4 pgを下回っている。

かつて、ダイオキシン類の発生源は農薬だったが、今日では、発生の主要原因は焼却炉における塩素を含むプラスチックの混焼である。このため、プラスチック廃棄物を分別して、一般廃棄物の焼却炉に混入しないことがまず重要である。ダイオキシン類にしても、環境ホルモンにしても、発生源を抑えることができれば、かなり安全な環境を作ることが可能となる。

25年前に比べて、ヒト体内のダイオキシン類量は半減している。このダイオキシン量のリスクを更に減らすためには、摂取経路を周知することが大切である。特に、日本人では、魚介類のルートが大きく、元をただせば、それらのダイオキシン類は、CNP、PCPといった過去散布された除草剤に含まれていた物質である。

7節 ダイオキシンのリスクを抑える食事

環境庁が発表した1998年の日本におけるダイオキシン類総排出量は2.9 kgで、1997年の6.3 kgに比べて半減している。したがって、焼却施設関係の規制が今後厳しくなると、それ程危惧する必要はないように思える。しかし、日本人のダイオキシン摂取源は、ほとんどが食事からであり、しかも魚介類からが半分以上を占めている。先に述べたように、魚介類に蓄積されているダイオキシン類は、焼却施設由来のものよりも、過去に使用され、現在は使用されていない農薬類に由来している。つまり、ダイオキシン類総排出量が減少したからといって、当分の間は魚介類に含まれるダイオキシン類量は減らないということになる。したがって、地域によっては、現在の平均値の2.6 pgを越え続けるかもしれないのである。

ダイオキシン規制法では、主な摂取源である食品についての規制は行われないので、各自がこの汚染から回避する手段を講じなければならないことになる。参考までに、魚介類の中でも汚染の危険性が高いのは、沿岸魚であるア

ジ、イワシ、サバ、ハゼ、コノシロ、コハダ、ブリ、タチウオ、サッパ、イシモチ、スズキ、アナゴ、ガザミ（ワタリガニ）とハマチなどの養殖魚であり、人口が密集した大都会の沿岸で獲れた魚介類ほど高い。逆に、回遊魚と輸入魚はダイオキシンの含有量が少ない。種類としては、イサキ、ヒラメ、タイ、ホッケ、エビ、サンマ、イカ、マグロ、カツオ、タコ、貝類などである。沿岸魚でも全部が全部危険というわけではない。地域的には、東京から大阪にかけての太平洋沿岸の数値が高い。

ダイオキシン類は脂溶性であるために、脂肪含有量の少ない魚介類である、ヒラメ、タイ、イカ、タコ、カニ、エビ、キスなどでは少ない。また、食べ方にも工夫が必要で、内臓や脂肪部分にダイオキシン類は蓄積されているので、汚染の危険性の高い部分は食べない方がよいと考えられている。

なお、食物繊維を多く含んでいる食品を食べると、身体の外にダイオキシンを排出しやすいといわれている。食物繊維を多く含む食品としては、キクラゲ、シイタケ、ヒジキ、ノリ、オカラ、カンピョウ、リンゴ、ナメコ、イチゴ、ゴボウ、カボチャ、タケノコ、キャベツなどがあげられる。なお、余談ではあるが、座談会の席で、Portier博士によると、ダイオキシンを体外に排出するのにポテトチップスが大変有効であるらしい。これはポテトチップスの油にダイオキシンが溶けて、体外に排出されるそうである。ただし、普通のポテトチップスの場合、過剰に食べると肥満のおそれがあるため、身体に吸収されずに、ダイオキシン類を溶かして排出するポテトチップスが開発されているそうである。しかし、味は大変まずいとのことであった。将来、ダイオキシン排泄剤として美味しいポテトチップスが開発されることを期待しよう。

8節 母乳の利益とダイオキシン

母乳中に含まれるダイオキシン類の濃度が極めて高いことが、厚生省の調査でわかった。ポリ塩化ビフェニール（PCB）類の中でも毒性が強いとされるコプラナーPCBは、平均脂肪1gあたり計22.2pgであった。この値は、赤ちゃんの母乳摂取量から換算すると、前述の一生取り続けても健康に影響がないとされる量の約26倍にあたる。ただ、1歳児の健康影響調査では、免疫機

3章 生活環境保全のためのダイオキシン耐容摂取量

能、甲状腺機能、発育などへの影響はみられなかった。なお、TDIは体重当たりの摂取量で決められているため、母乳を飲む乳児の摂取量はTDIに比べて著しく多いといえるが、母乳の摂取期間は短期間であるために、TDIだけで単純に危険性の判断はできない。

母乳のダイオキシン汚染のリスクは、現段階では、母乳をやめるリスクに比べて圧倒的に小さいと考えられている。このためにWHOの勧告においても、母乳の推進を支持するものとなっている。過去10年間における母乳中のダイオキシン類は、調査可能地域が限定されているものの、明らかに低減している。このことは環境中のダイオキシン類の発生が抑制されたためであろう。また、ダイオキシンや環境ホルモンの作用で一番問題になるのは、胎児期であるが、どの発生時期に、どのような影響があるのかは今後明らかにする必要がある。

9節 人体汚染の低減に向けて

過去に薬害を起こしたDES（女性ホルモン剤）やサリドマイドは、胎児の発生過程の特定時期に悪影響を発揮し、それ以外の時期では影響はほとんど見られない。このように、化学物質の作用は、時期と量が非常に重要である。

我が国では、水俣病、カネミ油症などのように、政府の対応の遅れが被害を大きくした苦い経験がある。ダイオキシン類や環境ホルモン対策でも同様である。私達の健康は、健全な生態系にゆだねられており、社会構造の観点から、ダイオキシン類をどうしたら減らせるかということを考えることが重要である。なお、環境科学が、科学として確立していないためか、環境科学者の中には、非科学的な発言により、一般住民を過度に不安に陥れる者がいる。このような一般住民の不安をあおりたてる行為は慎むべきである。

寺田寅彦の言葉に、「ものを怖がらな過ぎたり、怖がり過ぎたりするのは易しいが、正当に怖がることは、なかなか難しい」とある。我々は、不断に環境要因に対する正しいリスク評価の努力を続けることが、今日ますます重要になってきている。

以上は、WHOダイオキシン専門家会議の米国代表・米国国立環境健康科学

研究所部長Portier博士と環境ジャーナリストの川名英之氏を迎えて行った長崎大学公開講演会「もっと知りたいダイオキシン」(主催:長崎大学環境健康影響研究会)における講演内容と活発に議論した内容を簡潔にまとめたものである。

参考・引用文献

- 1) 川名英之: 検証・ダイオキシン汚染、緑風出版 1998
- 2) 川名英之: どう創る循環型社会、緑風出版 1999
- 3) 宮田秀明: ダイオキシン、岩波新書 1999
- 4) 戸田清編集: もっと知りたいダイオキシン、長崎大学公開講演会集 1999
- 5) WHO: Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the tolerable daily intake (TDI). WHO Consultation, Geneva, Switzerland, May 25—29, 1998.
- 6) WHO: WHO experts re-evaluate health risks from dioxins. Press release, WHO/45, Switzerland, June 3, 1998.
- 7) Portier C.J.: Personal communication, September 21—22, 1999.