

## 畜産環境とダイオキシン

独立行政法人 農業環境技術研究所 化学環境部  
ダイオキシン研究チーム 桑原雅彦

### 1. はじめに

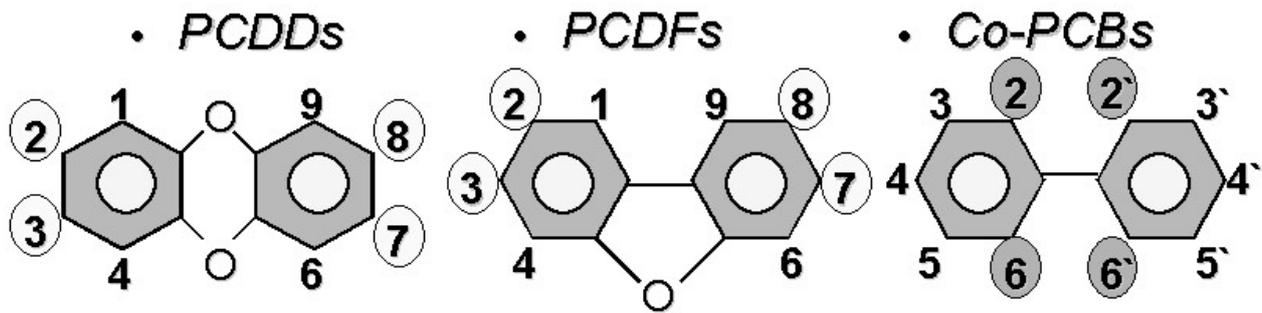
現在、世界で数万種類の化学物質が使用されており、これら物質の環境中への排出量は年々増加し続けています。これら化学物質の中には超微量でも生体の内分泌系をかく乱する作用が疑われている物質(所謂、環境ホルモン)があり、現時点で約70種類の化学物質にこのような作用の可能性が指摘されています。

内分泌かく乱作用が疑われている塩素系有機化合物のダイオキシン類は特異な性質を有し、物理化学的には極めて安定した化学物質です。蒸気圧や水溶解性は極めて低く、一般の有機溶媒にも難溶ですが脂肪には溶け易く、酸やアルカリに安定ですが紫外線には徐々に分解されます。したがって、一旦発生源から排出され生態系に侵入しますと環境中に長期間残留し、食物連鎖を通じて生物濃縮される性質があります。その結果、動物の脂肪組織には蓄積し易く、動物の病気や生息数の減少等との因果関係が喧伝されています。農林水産業においては農作物や鳥類、魚類への移行が心配され、それらを摂取する人間や家畜などへの悪影響が憂慮されています。このため、野生生物のダイオキシン類汚染状況の調査が現在も実施されており、行政上からも汚染軽減対策が進められている環境汚染物質の一つです。調査・研究が進展するのに伴い、現在では都市ゴミ焼却炉や廃棄物焼却炉などの燃焼施設が最大のダイオキシン類排出源であることが分かり(総排出量の90%以上)、地球規模での汚染の拡大と環境諸相(土、水、大気、環境生物)への深刻な影響が広く社会的関心事となっています。

### 2. ダイオキシン類とその毒性の評価法

通常、ダイオキシン類はポリ塩化ダイベンゾーパラダイオキシン(PCDD)とポリ塩化ダイベンゾフラン(PCDF)を指し、塩素数とベンゼン環上の位置関係から前者は75種類、後者は135種類の異性体から成ります。最近はこれにポリ塩化ビフェニール(PCB)の異性体群で、扁平な構造を有するコプラナーPCB(Co-PCB: 12種類の異性体)もダイオキシン類に含めています(図1)。PCBはその特異な物理化学的性質が目ざされ、熱媒体や電気絶縁体として意図的に製造され閉鎖環境中で使用されたのに対し、PCDDとPCDFは燃焼過程や塩素系有機化合物の製造・分解過程で非意図的に生成し、主として水・大気を介して環境中に広く拡散した点で全くその背景を異にしています。

上述したように、ダイオキシン類は多くの異性体の総称ですが、これらの異性体は毒性の強さがそれぞれ異なり、PCDDの2,3,7,8-四塩化物(2,3,7,8-TeCDD)がダイオキシン類異性体中で最も毒性が強いことが分かっています。そして、これまでの毒性学的知見からPCDDとPCDFは2,3,7,8置換体、PCBは扁平な構造を有するCo-PCBの合計29種類の異性体に毒性が認められ、これら各異性体の毒性が急性毒性や酵素誘導能等を指標に評価されています。試料中には多数のダイオキシン類異性体が含まれていますが、全体の毒性は各異性体の毒性の総和として表現できるとの前提に基づいて求められています。具体的には、各異性体の毒性を2,3,7,8-TeCDDの毒性に対する相対値[毒性等価係数(TEF)]として表示し(図1)、各異性体の濃度にTEFを掛け合わせて加算した値[毒性当量(TEQ)]、すなわち2,3,7,8-TeCDDに換算した値を試料中のダイオキシン濃度として標記しています。例えば濃度1pg-TEQ/gの表示は、試料1g中に2,3,7,8-TeCDDの1pg(1兆分の1g)に相当する濃度のダイオキシン類が含まれていることを示します。



PCDDs	TEF	PCDFs	TEF	Co-PCBs	TEF
2,3,7,8-TeCDD	1	2,3,7,8-TeCDF	0.1	<i>Non-ortho</i>	
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	3,3',4,4'-TeCB	0.0001
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	3,3',4,4',5,5'-HxCB	0.0001
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	3,3',4,4',5-PeCB	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	3,4,4',5-TeCB	0.01
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	<i>Mono-ortho</i>	
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.0001	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	2,3,3',4,4'-PeCB	0.0001
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	2,3,4,4',5-PeCB	0.0005
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	2',3,4,4',5-PeCB	0.0001
		1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.0001	2',3,4,4',5-PeCB	0.0001
				2,3,3',4,4',5-HxCB	0.0005
				2,3,3',4,4',5'-HxCB	0.0005
				2,3',4,4',5,5'-HxCB	0.00001
				2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	0.0001

図1 ダイオキシン類の構造とTEF

### 3. ダイオキシン類の毒性とその特徴

ダイオキシン類には急性致死毒性の他に、クロロアクネ症、胸腺萎縮、発ガン性や催奇性、内分泌かく乱作用等の慢性毒性が報告されていますが、これらの各症状に関する作用機序や有害性との因果関係を科学的に実証できる段階には未だ至っていない状況です。

PCDD異性体の実験動物に対する急性致死毒性から分かるように、各異性体の毒性は2,3,7,8-TeCDDが最大で、これより塩素数が多くても少なくとも毒性は顕著に低下します(表1)。また、2,3,7,8-TeCDDの各種動物に対する急性致死毒性(半数致死薬量)は、発生学的に近縁の嚙歯類でも、感受性の最も高いモルモット(0.6~2.0 μg/kg体重)から、最も低いハムスター(>3,000 μg/kg)まで5,000倍以上の種間差があり、この差異をもたらす作用機序に関する十分な科学的論拠が得られていないのが現状です。したがって、ダイオキシン類の毒性は一般の毒物で認められる単純な容量-反応関係の場合とは異なり、ある種の実験動物で得られた結果を他の生物種にそのまま外挿することができません。このように、ダイオキシン類の毒性は極めて構造特異性が高く、毒性は生物種により顕著に異なるうえ、催奇形性や発ガン性等の慢性毒性を有する等、多種多様な毒性を示す大変厄介な化学物質です。

表1 ダイオキシン(PCDD)異性体の急性毒性

置換位置	半数致死量(μg/kg)	
	モルモット	マウス
2,8	> 3 × 10 <sup>8</sup>	—
2,3,7	29,444	> 3 × 10 <sup>3</sup>
2,3,7,8	0.6~2.0	283.7
1,2,3,7,8	3.1	337.5
1,2,4,7,8	1,125	> 5 × 10 <sup>3</sup>
1,2,3,4,7,8	72.5	825
1,2,3,6,7,8	70~100	1,250
1,2,3,7,8,9	60~100	> 1,440

1,2,3,4,6,7,8	> 600	—
1,2,3,4,6,7,8,9	—	> 4 × 10 <sup>4</sup>

#### 4. 日本におけるダイオキシン類対策

昭和58年に都市ゴミ焼却施設の排ガス中からダイオキシン類が検出され、社会的に大きな関心事となって以来、わが国では環境保全および健康影響を未然に防止する観点から、行政上の各種対策が取られてきました。ゴミ焼却施設からの排ガス実態調査により、ダイオキシン類(PCDDおよびPCDF)の90%以上が都市ゴミや産業廃棄物を燃焼させる際に発生することが分かりました。そのため、大気汚染防止法や廃棄物処理法によって、ゴミ焼却施設に対する排ガス規制やゴミ焼却施設の改善などの対策が取られてきました。

現在のダイオキシン対策は、平成12年1月から運用が始まったダイオキシン類特別措置法に準拠して進められています。この法律は、ダイオキシン類による環境汚染の防止および汚染の除去を目的に、当該施策の基本となる基準や必要な規制、土壌汚染に対する対策等を定め、これらを遵守させるために、汚染状況の調査・測定を各都道府県に義務付けています。一例として、基準の具体的な数値となる耐容一日摂取量〔健康影響の観点から、一生涯連続して摂取することが許容される一日当たりの量(TDI)。但し、一時的にこの数値を多少超過しても健康に影響を与えるものではない〕、および環境基準を示しました(表2)。

表2 ダイオキシン類に関する施策の基本とすべき基準

耐容一日摂取量(TDI)…… 4pg-TEQ/体重kg/日	
環境基準	
大気	…… 0.6pg-TEQ/m <sup>3</sup> 以下(年平均値)
水質	…… 1pg-TEQ/L以下(年平均値)
土壌	…… 1,000pg-TEQ/g (調査指標※:250pg-TEQ/g)

※ 調査指標以上の場合には必要な調査を実施することとする

#### 5. 日本人の一日あたりダイオキシン類摂取量と摂取経路

平成2年当時の日本人のCo-PCBを含めた一般的なダイオキシン類摂取(暴露)量は12.45pg/kg体重/日で、この数値は当時設定されていたTDI(耐容一日摂取量; 10pg/kg体重/日)をも上回っていました。しかし、環境基準や排出規制が強化されてきた平成11年度の調査では、摂取量は2.3pg/kg体重/日と大幅に低下し、安全の目安となるTDI(4pg-TEQ/kg体重)をかなり下回っています。今後もダイオキシン類排出削減対策が継続して推進されるならば、環境中ダイオキシン類の濃度は更に低下し、農産物の安全性はより向上することが期待されます。

体内に取り込まれるダイオキシン類の経路は、その大部分(98%弱)が食事による経口摂取(2.25pg-TEQ/kg体重/日)で、その他若干量が降下物および土壌を呼吸ならびに経皮的に摂取することによると推定されています。したがって、摂取経路として食品が最も重要であり、食品経路の一日あたり摂取量のうち、その約80%弱が魚介類(1.73pg-TEQ/kg体重)から、また約20%弱が肉・卵および乳・乳製品等の畜産製品(0.045pg-TEQ/kg体重)から摂取しています。これはダイオキシン類が脂溶性で脂肪組織に蓄積し易いため、魚介類や畜産製品に多く含まれることと、日本人の魚介類摂取量が欧米人よりはるかに多いためです。食生活の欧米化に伴い畜産製品の摂取量は増加傾向にありますが、多くの食品をバランス良く摂取する限り、現状のダイオキシン摂取量は健康に影響を与えるレベルではないと申せましょう。

#### 6. 畜産製品におけるダイオキシン問題

畜産製品におけるダイオキシン汚染が社会問題化した事件が、1999年にベルギーで起こりました。原因究明と汚染の実態調査が実施され、リサイクル油脂精製過程で熱媒体の工業用PCBが油脂中に何らかの原因で混入し、ダイオキシン類に汚染された油脂を使った飼料で飼育された家畜(主に家禽類)が汚染されたことによると推定されています。鶏肉や飼料からはPCB由来の高濃度のポリ塩化ダイベンゾフラン(PCDF)をはじめとするダイオキシン類が検出されました。汚染された飼料を給餌された鶏の症状は、産卵数の減少、卵の重量増加率および孵化率の急激な低下、鶏の皮下水腫と神経かく乱症状、ならびに死亡率の増加等の生殖機能への悪影響が顕著に現れました。これらの症状は、かつてアメリカ他で発生したPCBおよびダーク油による大規模な鶏のヒナ水腫事件と酷似し、ともに汚染された油脂を使用した飼料に起因すると思われる点で共

通性がありました。

事件発生後、世界各国がベルギー産鶏肉、鶏卵、豚肉、牛肉や乳製品等の畜産製品の輸入禁止や販売禁止措置、あるいは輸入自粛勧告を出したため、畜産製品に対する不安から国内外の市場が大混乱しました。ベルギー政府は様々な対策を講じるとともに、専門家に汚染規模および一般大衆への健康影響について検討を依頼しました。専門家による考察の概要は、鶏肉・鶏卵および豚肉等の汚染濃度、ならびに一般人の畜産製品摂取量から推定して、ダイオキシン類摂取量は一時的にはTDI(1~4pg/g体重)よりもかなり高くなる可能性はあるが、過去に発生したヒトの油症事件や塩素系薬剤製造工場爆発事故での中毒患者の体内蓄積量に比較して、今回の事件による一般人の蓄積量は格段に低いと見積もられることから、国民に健康影響を引き起こす可能性はほとんどないという結論に至り、事件は次第に沈静化に向かいました。

この事件は食品の安全性を確保するうえで、諸政策の円滑な運営と監視体制の強化に止まらず、食物連鎖全域をカバーするモニタリングと安全性に関する国際的な基準の確立と情報の収集・交換等、世界各国が協調して行動する必要性をあらためて認識させる事件でした。

## 7. おわりに

本文では特異な物理化学的性質と生物影響を有するダイオキシン類について述べ、わが国のダイオキシンへの取り組み状況と法規制、および過去に外国の畜産現場で問題化したダイオキシン事件とその顛末について触れた。ダイオキシン類の地球規模での分布の拡大と問題の深刻さが広く社会的関心事となった現在、ベルギーで発生した事例の如く、一旦事件が発生すると問題は国内に止まらず、大きな政治的ならびに社会・経済的インパクトを伴った深刻な問題として、国外へも波及することを認識しなければなりません。

ヒトの油症事件や化学工場の事故による高濃度のダイオキシン暴露事例を除けば、通常の商品を介した経口摂取による低濃度ダイオキシン類によるヒトへの健康影響は未解明の事柄が多く、現在も精力的に研究が進められている状況です。ダイオキシン類には内分泌かく乱作用の可能性が指摘されており、長期間に亘る極微量のダイオキシン類摂取による免疫系や神経系への毒性については、経世代的影響を含めた検証を継続する必要があります。

主要欧米諸国では、畜産分野における内分泌かく乱物質の家畜への移行・移行経路の実態把握と情報の蓄積が進められ、最近では飼料や動物医薬品にも調査対象を拡大しています。しかし、わが国のダイオキシン類を含めた内分泌かく乱化学物質研究の歴史は浅く、情報の蓄積は十分とは言えない状況です。現時点で国内の畜産現場が最も必要としている情報は、現在の畜産環境および畜産製品中におけるダイオキシン類の分布実態を先ず正確に把握し、畜産環境→家畜→畜産製品におけるダイオキシン類の動態(挙動や移動、蓄積等)を明らかにすることであろう。これによって畜産環境中で重点的に対策を取るべき発生源、および環境中で汚染除去対策を実施すべき場所や手段が明らかになり、畜産環境全体としてダイオキシン類濃度を低下させ得るかを予測することが可能となります。