

# 保健環境トピックス



## PCB、ダイオキシンの健康への影響について

近代は様々な化学物質が生産、副生あるいは非意図的に生成され環境中や人体に拡散・移行している。このような化学物質のなかで残留性の高いポリ塩化ビフェニール (PCB) やダイオキシン類は内分泌かく乱物質 (EDC) として知られており、環境汚染物質として広く分布し、食物連鎖を介してヒト体内に蓄積されている。このため人体に取り込まれ、蓄積した PCB、ダイオキシン類が人の健康におよぼす影響が危惧されている。ここでは油症研究や妊婦の血液中 PCB、ダイオキシン類濃度の研究成果を中心に PCB、ダイオキシン類の健康への影響について解説する。

### 1. PCB、ダイオキシン類分析法および化合物の毒性評価

PCB、ダイオキシン類の人体汚染濃度を分析するためには多量の血液 (50mL) 試料を採取することが必要で、大変な困難を伴い、多額の費用と長い時間を要した。我々は 2000 年に少量のヒト血液 (5mL) や母乳 (2ml) 試料等から正確で迅速にダイオキシン類を測定できる分析法を確立し、大規模な人体汚染状況調査を可能とした。

人体に取り込まれたダイオキシン類は芳香族炭化水素レセプター (AhR) に結合し毒性が発揮されると考えられている。最も毒性の高い 2,3,7,8-TeCDD の毒性を 1 とし相対毒性係数 (TEF) を定め、各異性体濃度と TEF の積の合計値 (TEQ: 2,3,7,8-TeCDD

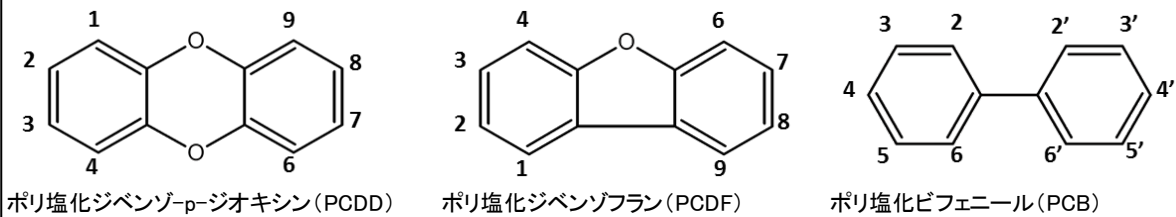
毒性等価量) を用いることにより、ダイオキシン類の毒性評価が行われている (下図参照)。TEF が定められた化合物はポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン (PCDD) 7 種、ポリ塩化ジベンゾフラン (PCDF) 10 種、ノンオルソ-PCB 4 種、モノオルソ-PCB 8 種の合計 29 種で、これらはまとめてダイオキシン類と呼ばれている。また、ダイオキシン類は体内では脂肪中に溶けて存在すると考えられるため血液中脂肪含量変化の影響を勘案し、脂肪重量あたりの濃度: pg TEQ/g lipid で評価される報告が多く見られる。

PCB は分子内に存在する塩素の数が 1~10 個で 209 種類の異性体が存在し、各異性体には #1 から #209 までの通し番号が付けられている。環境中には全種類の異性体が検出されるが、生体内では吸収・代謝により、5~7 塩素化合物を中心に 50 程度程度の異性体が検出されている。生体内の汚染評価はこれら異性体の濃度の合計値を用い、総 PCB 濃度として評価される。

### 2. カネミ油症患者の PCB、ダイオキシン類測定結果

カネミ油症事件は 1968 年に西日本を中心に発生し、2000 人以上の患者が認定されている。事件発生当初は PCB が米ぬか油に混入し発生した食中毒事件と考えられていたが、現在では PCB を熱媒体として高温に加熱して使用したため派生した PCDF が毒性の主体であると考えられている。カネミ油症事件は PCB、ダイオキシン類による大規模な人体汚染事例で、これら化合物によ

#### ダイオキシン類の構造



#### 毒性等価係数 (TEF : Toxic Equivalency Factor)

- ・WHOにより決められたダイオキシン類の毒性評価係数
- ・2,3,7,8-テトラクロロジベンゾパラダイオキシン (TeCDD) の毒性を「1」とした時の相対的毒性評価
- ・PCDD (7種)、PCDF (10種)、ノンオルソPCB (4種)、モノオルソPCB (8種) の合計 29 化合物に係数が定められている

#### 主なダイオキシン類化合物と TEF

PCDD	TEF	PCDF	TEF	PCB	TEF
2,3,7,8-TeCDD	1	2,3,7,8-TeCDF	0.1	Non-ortho	
1,2,3,7,8-PeCDD	1	1,2,3,7,8-PeCDF	0.03	3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.0001
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	2,3,4,7,8-PeCDF	0.3	3,3',4,4',5-PeCB(#126)	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.03
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	Mono-ortho	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.00003
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.0003	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.0003	2,3,3',4,4',5-HxCB(#156)	0.00003

る生体影響に関する多くの知見が得られている。カネミ油症の診定基準には皮膚症状、眼科症状があげられているが、内科、皮膚科、呼吸器科、眼科、産婦人科等の多岐にわたる症状が報告されている。しかし、カネミ油症患者の症状の中には血液中 PCB、ダイオキシン類濃度と相関が見られないものもあった。このため患者さんの遺伝的要因が関係していることが推察され、ダイオキシン類のレセプターである AhR の遺伝子多型との相関が調べられている。これまでのところ遺伝子多型により血液中ダイオキシン類濃度の半減期が異なることが報告されている。カネミ油症の発症メカニズムはダイオキシン類が AhR に結合すると、細胞や遺伝子を活性酸素が傷つける「酸化ストレス」が増え、体調不良を引き起こすと考えられ、酸化ストレスを軽減する漢方薬や抗酸化作用を持つ食品を摂取することが推奨されている。

ダイオキシン類の母子間の移行を解析するため、1948 年から 1995 年にカネミ油症患者の母親が出産した児の保存されていた「へその緒」中のダイオキシン類濃度を測定した。その結果、事件発生後 13 年以内(1970—1981 年)に生まれた児の一部のへその緒から高濃度のダイオキシン類が検出され、母親の血液中ダイオキシン濃度が高い場合はへその緒のダイオキシン濃度も高かった。

カネミ油症患者の母親の血液中ダイオキシン類濃度と生まれた子供の出生体重を比較すると母親の血液中ダイオキシン類濃度が高いと男児で低体重になりやすい傾向が見られた。従って、ダイオキシン類の胎児への影響には性差があると考えられた。次に、低体重や色素沈着など胎児性油症が疑われる事例について、発症率と母親の血液中のダイオキシン類異性体別濃度を比較すると 1, 2, 3, 6, 7, 8-HxCDD が最も重要な誘引異性体と考えられた。

### 3. 妊婦血液中ダイオキシン類濃度の実態

2002 年から 2005 年に出産した 426 人の妊婦血液中ダイオキシン類濃度を測定した。その平均は 15pg TEQ/g lipid (最小 3.7—最大 43pg TEQ/g lipid) であった。これは同時期の同様他研究報告と同レベルであるが、1990 年頃の一般人の血液中濃度 (60.6 pg TEQ/g lipid) に比べると 1/4 程度、2002 年のカネミ油症患者の血液中濃度 (161 pg TEQ/g lipid) に比べると 1/10 以下の低い値であった。近年、環境汚染物質に対する規制が強化され、環境、食品および人体のダイオキシン類濃度の低下が指摘されており、その成果が反映したものと思われる。

妊婦の中で経産婦は初産婦に比べ約 20%血液中ダイオキシン類濃度が低かった。母体内のダイオキシン類の一部は出産により胎盤や胎児へ移行し、母乳に分泌されたダイオキシン類も母体から排除されるため血液中ダイオキシン類濃度は低下したと推察される。さらに、経産婦の血液中ダイオキシン類濃度を 30

才以下と 31 才以上で比較すると年齢が高いと血液中ダイオキシン類濃度も高くなる傾向が見られた。ダイオキシン類は食品を介して人体に蓄積されると考えられており、年齢が上がるとダイオキシン類の蓄積も進むと考えられる。

今回測定した妊婦の血液中ダイオキシン類濃度はカネミ油症事件や過去の一般住民の血液中ダイオキシン濃度と比べると 1/10 から 1/4 程度低い。低濃度のダイオキシン類暴露による健康影響として、母親の血液中ダイオキシン類濃度が高いと男児で低体重になりやすい傾向が見られた。

### 4. 出産時試料中ダイオキシン類濃度

2009 年から 2011 年に出産した妊産婦 29 人から、母体血、母体脂肪、母乳、胎盤、さい帯、さい帯血、羊水、胎脂、胎便等を採取しダイオキシン類濃度を測定した。その結果、母体血、胎盤、母体脂肪、胎脂、さい帯血、胎便の順に低くなる傾向が認められた。さらにこれら生体試料と母体血のダイオキシン類濃度間に良好な正の相関 ( $r^2 = 0.8322 \sim 0.9399$ ) が認められた。従って、母体内でのダイオキシン類の胎児への透過は、胎盤部位で一定の抑制がなされ、胎児へ移行する毒性量は軽減されることが示唆された。

### 5. 食品中ダイオキシン、PCB 類濃度の変遷

人体に蓄積された PCB、ダイオキシン類の 90%以上は食品を介して摂取されると推察されている。食品を介した有害化学物質摂取量は厚生労働科学研究班により、PCB 類は 1977 年から、ダイオキシン類は 1999 年から継続して調査されている。PCB 類の国民平均 1 日摂取量は 1980 年以前は  $3 \mu\text{g}/\text{人}/\text{日}$  程度であったものが 1990 年代に  $1 \mu\text{g}/\text{人}/\text{日}$  を下回り、2012 年は  $0.39 \mu\text{g}/\text{人}/\text{日}$  で PCB の ADI 比では約 0.2%と大幅に下回っていることが報告されている。ダイオキシン類の国民平均 1 日摂取量は 1999 年は  $1.75 \text{ pg TEQ}/\text{kg 体重}(\text{bw})/\text{day}$ 、2006 年に  $0.90 \text{ pg TEQ}/\text{kg bw}/\text{day}$ 、2016 年は  $0.54 \text{ pg TEQ}/\text{kg bw}/\text{day}$  でダイオキシン類の耐容 1 日摂取量  $4 \text{ pg TEQ}/\text{kg bw}/\text{day}$  の 14%と報告されている。食品中の PCB、ダイオキシン類濃度が低下しているため、将来的には人の体内の PCB、ダイオキシン類濃度も低下することが期待される。

化学物質の多くは生活や産業に不可欠のものであるが、危険性が明らかになったものは使用が取りやめられ、より安全な他の物質に置き換えられている。PCB、ダイオキシン類も 1970 年代から環境や人体での汚染が問題になり、様々な対策が講じられてきた。その結果、環境中や食品中の PCB、ダイオキシン類濃度も低下してきており、これまでの対策は効果を上げていると思われる。しかし、今後もそれらの対策を継続していく必要がある。

## 福岡県における玄海原子力発電所 UPZ 圏内の放射能監視体制

### 1 はじめに

福岡県では、県内の放射能レベルを把握するために環境放射能水準調査を 1957 年から 60 年間以上実施してきた。環境放射能水準調査は、当初大気圏内核爆発実験における放射性降下物による環境中の放射能を調査することが目的であった。しかし、1980 年に大気圏内での核爆発実験が停止されてからは、チェルノブイリ原子力発電所事故等による放射能汚染や放射線影響を調査することが、主な目的となっている。

2012 年からは九州電力玄海原子力発電所(佐賀県東松浦郡玄海町)の 30 km 圏内に位置している糸島市の一部(15,000 名在住)において、原子力災害の防護措置を講じるための監視調査を実施することになった。これは、2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故の反省から、原子力規制委員会が新たに原子力災害対策指針を制定したことによるものである。

### 2 原子力災害対策指針

原子力災害対策指針では、災害発生時に原子力規制委員会が原子力施設の状況に応じて緊急事態の区分を決定し、予防的防護措置を実行する。緊急事態区分としては、原子力施設の状態等に基づき、①警戒事態、②施設・敷地緊急事態、③全面緊急事態の 3 段階の緊急時活動レベル(Emergency Action Level: EAL)が設定されている。また、緊急時防護措置を迅速に実行できるように、空間放射線量率や環境試料中の放射性物質濃度等の観測可能な指標で表される運用上の介入レベル(Operational Intervention Level: OIL)が設定されている。

さらに、放射線による影響をできる限り低減する目的から、EAL 及び OIL に基づく緊急防護措置を速やかに実施できるように準備する区域(Urgent Protective Action Planning Zone: UPZ)を、原子力施設を中心とする概ね半径 30 km 圏内に設定して、重点的に対策を講じておくことになっている。

### 3 UPZ(緊急時防護措置を準備する区域)内の監視体制

玄海原子力発電所では、発電所が立地する佐賀県と隣接する長崎県及び福岡県が UPZ 圏内に位置する。福岡県は

モニタリングステーションを UPZ 圏内に 2 局(二丈局及び志摩局)設置し、環境放射線のモニタリングを行っている。また、発災時における緊急時モニタリング計画と実施要領を制定し、3 県が連携して、迅速に緊急時モニタリングへ移行できるように備えている。

一方、平常時モニタリング調査として、平常時の環境放射能を測定することにより、原子力発電所の異常を早期に検出するとともに緊急時における原子力発電所の周辺住民及び周辺環境への影響を評価する目的で、UPZ 圏内の空間放射線量率調査と環境試料の核種分析調査を行っている。

### 4 空間放射線量率調査

空間放射線量率の測定値は、二丈局(写真 1)及び志摩局に設置されているモニタリングポスト(写真 2)からテレメータシステムによりリアルタイムで収集される。これらの結果は、インターネットを介して、福岡県のポータルサイト(<https://houshasen.pref.fukuoka.lg.jp/>)から閲覧できるようになっている。



写真 1 二丈局



写真 2 モニタリングポスト  
低線量計(左)と高線量計(右)

これまでの測定値は、概ね平常の変動幅の範囲内であった。平常の変動幅を外れた測定値は、大気中に滞留するラドン子孫核種のビスマス-214 (Bi-214) や鉛-214 (Pb-214) が降雨により沈着した結果、空間放射線量率を上昇させたものと推定され、原子力発電所からの影響によるものは認められなかった。

## 5 核種分析調査

UPZ 圏内に含まれる糸島市の二丈地区と志摩地区における環境試料の採取地点を図1に示す。環境試料の種類は表1に示す13種類であり、年に1~2回採取している。

環境試料中の放射性物質濃度は、ゲルマニウム半導体検出器や液体シンチレーションカウンタを用いて測定する。対象核種は、人工放射性核種 9 核種：マンガン-54 (Mn-54)、鉄-59 (Fe-59)、コバルト-60 (Co-60)、亜鉛-65 (Zn-65)、ジルコニウム-95 (Zr-95)、ヨウ素-131 (I-131)、セシウム-134 (Cs-134)、セシウム-137 (Cs-137)、セリウム-144 (Ce-144) であり、陸水 (水道水・河川水) と海水についてはトリチウム (H-3) も測定している。

これまでの調査では、1980年以前に実施された大気圏内核爆発実験等に起因すると考えられる Cs-137 が微量検出されたが、原子力施設からの影響は確認されていない。

2017年からは、モニタリングポストでカバーできない広域の空間放射線量を測定する目的で、環境放射線モニタリングカーによる UPZ 圏内の主要道路の走行モニタリングを実施している (基幹ルート及び詳細ルート)。空間放射線量の測定値はテレメータシステムからリアルタイムで各監視端末に送信されている。

## 6 おわりに

現在、玄海原子力発電所 3・4号機 (出力は共に 118 万キロワット) 2基が、東日本大震災後に策定された新規規制基準のもとで稼働している。

福岡県は玄海原子力発電所の東方に位置し、福岡市及び北九州市の 2メガタウンを有している。原子力災害時、気象状況によっては甚大な被害を受けるおそれがあるため、今後も監視体制のさらなる充実を図りつつ、監視強化に努めていく必要がある。

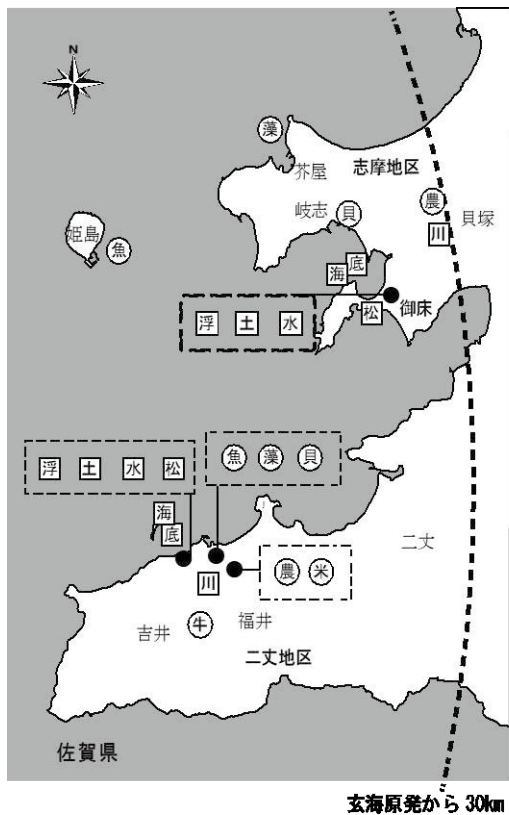


図1 環境試料の採取地点

表 1 環境試料の種類

記号	記号名	採取場所	記号	記号名	採取場所
浮	大気浮遊じん	二丈吉井、志摩御床	牛	牛乳	二丈吉井
川	河川水	二丈福井、志摩貝塚	米	精米	二丈福井
水	水道水	二丈吉井、志摩御床	農	大根、ほうれん草	二丈福井、志摩津和崎
土	土壌	二丈吉井、志摩御床	魚	アイゴ(イバラ)	福吉漁港沖、姫島漁港沖
松	松葉	二丈吉井、志摩松原	貝	ムラサキイガイ	福吉漁港、船越漁港
海	海水	福吉漁港沖、船越漁港沖	藻	ホンダワラ類	福吉漁港沖、芥屋漁港沖
底	海底土	福吉漁港沖、船越漁港沖			

