

ダイオキシン類による土壌の汚染に係る
環境基準の設定等及びダイオキシン類
土壌汚染対策地域の指定の要件について
(答申案)

平成 1 1 年 1 1 月

中央環境審議会土壌農薬部会

中央環境審議会土壤農薬部会 委員名簿

部会長	熊澤喜久雄	東京大学名誉教授
委員	櫻井 治彦	労働省産業医学総合研究所所長
"	佐竹 五六	(財)日本軽種馬登録協会理事長
"	須藤 隆一	東北大学大学院工学研究科教授
"	中川昭一郎	東京農業大学客員教授((株)山崎農業研究所代表)
"	原 剛	毎日新聞東京本社編集局特別委員
"	藤村 宏幸	東京商工会議所環境委員会委員長(荏原製作所会長)
"	宮西香津子	全国地域婦人団体連絡協議会理事
"	村岡 浩爾	大阪大学大学院工学研究科教授
"	森嶋 昭夫	上智大学法学部教授
"	渡部 徳子	東京水産大学水産学部教授
特別委員	岩崎 充利	(財)畜産環境整備機構理事長
"	岡田 齊夫	生物系特定産業技術研究推進機構研究開発業務プロジェクトリーダー
"	亀若 誠	(社)農林水産技術情報協会顧問
"	林 裕造	北里大学薬学部客員教授
"	桧山 博昭	前金属鉱業事業団理事長
"	山口梅太郎	東京大学名誉教授

中央環境審議会土壤農薬部会土壤専門委員会 委員名簿

委員長	林 裕造	北里大学薬学部客員教授
委員	櫻井 治彦	労働省産業医学総合研究所所長
特別委員	山口梅太郎	東京大学名誉教授
専門委員	上沢 正志	農林水産省農業環境技術研究所土壤管理科長
"	黒川 雄二	国立医薬品食品衛生研究所安全性生物試験研究センター長
"	駒井 武	通商産業省資源環境技術総合研究所安全工学部化学物質安全研究室長
"	武田 信生	京都大学大学院工学研究科教授
"	土屋 隆夫	東京都環境科学研究所所長
"	豊田 正武	国立医薬品食品衛生研究所食品部長
"	中杉 修身	国立環境研究所化学環境部長
"	増島 博	東京農業大学応用生物科学部教授
"	松久 幸敬	工業技術院地質調査所首席研究官
"	松本 聡	東京大学大学院農学生命科学研究科教授
"	森田 昌敏	国立環境研究所地域環境研究グループ統括研究官
"	山本 出	東京農業大学名誉教授

目 次

1	はじめに.....	1
2	土壌汚染の状況.....	1
(1)	土壌環境中のダイオキシン類の濃度.....	1
(2)	人の平均的な摂取量.....	2
(3)	土壌中に蓄積されたダイオキシン類の発生源と排出実態.....	2
3	土壌環境基準の設定等.....	3
(1)	基本的考え方.....	3
(2)	環境基準等の内容.....	4
(3)	環境基準の適用対象.....	6
(4)	環境基準の達成期間等.....	7
(5)	環境基準の評価のための調査の考え方.....	7
4	土壌汚染対策地域の指定の要件.....	8
(1)	基本的考え方.....	8
(2)	指定要件の内容.....	8
(3)	対策の考え方.....	9
5	今後の課題.....	10
6	おわりに.....	11
参考 1	ダイオキシン類の毒性等価係数 (T E F)	12
参考 2	土壌中のダイオキシン類に係る測定結果の分布	13
参考 3	農用地土壌及び農作物に係るダイオキシン類測定結果.....	14
参考 4	直接摂取に着目した「1,000pg-TEQ/g以下」の設定手法	15
参考 5	土壌中濃度と水中濃度の関係についての試算.....	16
参考 6	ダイオキシン類対策特別措置法における土壌汚染対策の体系.....	18

1 はじめに

近年、ダイオキシン類に対する社会的関心が高まるなか、土壌中から高濃度のダイオキシン類が検出される事例が判明している。平成11年7月には、ダイオキシン類による環境の汚染の防止及びその除去等をするため、ダイオキシン類に関する施策の基本とすべき基準を定めること等により、国民の健康を保護することを目的として、ダイオキシン類対策特別措置法が制定・公布された。同法では、ダイオキシン類による土壌の汚染に係る環境上の条件について、人の健康を保護する上で維持されることが望ましい基準を定めることとされている。また、ダイオキシン類により汚染された土壌に係る措置として、都道府県知事は、一定の要件に該当する地域をダイオキシン類土壌汚染対策地域として指定することができることとされている。

このような状況を踏まえ、平成11年7月14日に環境庁長官より中央環境審議会に対し「ダイオキシン類による土壌の汚染に係る環境基準の設定等について」、また同年9月3日に内閣総理大臣より中央環境審議会に対し「ダイオキシン類土壌汚染対策地域の指定の要件について」諮問が行われた。これらの諮問に対し、土壌農薬部会及び同部会に設置された土壌専門委員会における調査検討を踏まえ、ここにその結果をとりまとめた。

(注)

1)平成11年7月に公布されたダイオキシン類対策特別措置法に基づき、ポリ塩化ジベンゾフラン(以下「PCDF」という。)、ポリ塩化ジベンゾ-パラ-ジオキシン(以下「PCDD」という。))及びコプラナーポリ塩化ビフェニル(以下「Co-PCB」という。))を「ダイオキシン類」とする。

2)ダイオキシン類の毒性の評価は、世界保健機関(WHO)が提案した毒性等価係数(WHO-TEF(1998))を用いて得られる毒性等量(TEQ)により行うこととする。なお、過去の調査・研究事例でI-TEF(1988)を用いている場合にはその旨を記す。(参考1参照)

2 土壌汚染の状況

(1) 土壌環境中のダイオキシン類の濃度

環境庁が平成10年度に実施したダイオキシン類緊急全国一斉調査の結果では、土壌中のダイオキシン類の濃度は286地点の算術平均値で6.5pg-TEQ/g(PCDD及びPCDFについては測定地点数344地点で6.2pg-TEQ/g)、その検出範囲は0.0015~61pg-TEQ/g(PCDD及びPCDFについては0.00067~110pg-TEQ/g)であった。(参考2参照)

また、環境庁が平成10年度に実施した農用地土壌及び農作物に係るダイオキシン類調査結果では、農用地土壌52地点の算術平均値は28pg-TEQ/g、その検出範囲は0.066~130pg-TEQ/gであった。(参考3参照)

一方、これまでに自治体等により調査された事例(I-TEFによる。)をみると、

定量下限値以上のデータのうち非常に高濃度の事例を除いて、廃棄物焼却施設等発生源の周辺地域で0.001～550pg-TEQ/g、それ以外の地域で市街地では0.0063～350pg-TEQ/gという結果が報告されている。

また、土壌の高濃度の汚染事例としては、我が国の発生源周辺で、一般廃棄物焼却施設内土壌で最高5,200万pg-TEQ/g、一般廃棄物焼却施設周辺土壌で最高8,500pg-TEQ/gの事例が公表されている（いずれもI-TEFによる。）。

これらの調査結果の分布をみると、その多くは対数正規分布に適合し、高濃度の土壌汚染は局所的であると見られる。（参考2 参照）

（２）人の平均的な摂取量

我が国の一般的な生活環境におけるダイオキシン類の曝露は、食品を通じた経路が主体で、そのほかに大気、土壌からの直接摂取等の経路があげられる。

我が国の国民一人あたりの1日の平均的なダイオキシン類の摂取量は、食品（飲料水を含む。）からは「食品からのダイオキシンの一日摂取量調査」（平成10年度、厚生省）によれば2.00pg-TEQ/kg/dayであり、大気からは0.07pg-TEQ/kg/day、土壌から（＊）は0.0084pg-TEQ/kg/dayと見込まれる。このことから、一般的な生活環境における土壌の直接摂取によるダイオキシン類の摂取量は少ないと見込まれる。

＊ 緊急全国一斉調査の算術平均値6.5pg-TEQ/gを用いて土壌の直接摂取量を推定したもの。

（３）土壌中に蓄積されたダイオキシン類の発生源と排出実態

平成11年6月に整備したPCDD及びPCDFの排出インベントリーにおいては、平成10年の我が国のPCDD及びPCDFの年間発生量は約2,900g-TEQ/年と推定された。このインベントリーによれば、現状においては、その大部分を大気への排出が占めている。

大気中に放出されたダイオキシン類は、主に乾性・湿性沈着によって地表、河川などに到達すると考えられている。土壌に到達したダイオキシン類は、その中に長期間残留する。このことは、土壌が大気中に放出されたダイオキシン類の水域への流出速度を低減する等の役割を有していることを意味する。一方、土壌中に保持（ストック）されたダイオキシン類は、主に粒子状物質に吸着して一部が水域に移行するため、土壌がダイオキシン類の環境中への二次的な汚染源となる可能性がある。

また、土壌中にストックされたダイオキシン類の由来には、過去に主に水田用除草剤として使用されていた農薬の一部に不純物として含まれていたPCDD及びPCDFの存在も指摘されている。また、これらの水域への移行の可能性も併せて指摘されている。

土壌中のダイオキシン類は光化学的分解及び微生物分解することが知られており、今後、排出規制や削減対策によって土壌への新たな負荷が低減すれば、土壌中のダイオキシン類の濃度は緩やかに減少していくと推定される。

3 土壤環境基準の設定等

(1) 基本的考え方

土壤中のダイオキシン類への人の主な曝露経路として次の3つが考えられる。

第1の経路は、手などに付着した土壤の摂食や皮膚接触による土壤の直接摂取の経路である。特に、高濃度に汚染された事例が報告されている地域においては、汚染土壤の上での居住・活動により、土壤中のダイオキシン類を直接人が摂取し、これにより健康影響が生じるおそれ（以下「曝露リスク」という。）がある。

土壤からの直接摂取による曝露リスクについては、各国の土壤汚染対策に係るガイドライン等においても共通する評価の対象となっている。また諸外国の評価モデルのシナリオを見ても、手などに付着した土壤の摂食や皮膚接触などは、主要な曝露経路として概ね共通してリスク評価の対象となっている。

そこで、これら諸外国で用いられている評価モデル等を参考に、現在知りうる科学的な知見を基に、具体的な曝露アセスメントのためのシナリオの設定と有害性の評価を行い、環境基準を設定することとする。

第2の経路は、農用地土壤中のダイオキシン類が当該土壤の上で生産される農畜産物に移行し、それらが人に摂取される経路である。この場合は、農用地土壤についての基準の設定が検討対象になる。

植物体へのダイオキシン類の取り込みは、一般には、土壤経由よりは大気経由、すなわち大気中にガス状態及び粒子状物質に付着した状態で存在するダイオキシン類の影響がより重要と考えられるとの指摘があり、また根部からの吸収はほとんどないかあっても極めてわずかであると考えられている。さらに、植物の種類によって土壤中のダイオキシン類の影響が異なる可能性がある。このため、農用地から農作物へのダイオキシン類の移行量の推定は困難であり、さらに、畜産物については各国の家畜の飼養形態や国民の摂取量が異なっていることなどから、農畜産物を經由する間接的な曝露リスクに係る諸外国の対応状況も様々である。なお、葉や果実の土壤粒子の吸着については、水洗や皮むきといった調理過程においてその大部分は除去されると指摘されている。

現在のところ、我が国における農用地土壤及び農作物の測定例は少なく、汚染の実態や農作物と土壤との関係など解明すべき多くの課題がある。

第3の経路は、土壤の粒子が水域に移行し更に食物連鎖を経て水産物を經由する経路である。この場合は土壤が二次的な非特定汚染源となる可能性を有するために、土地利用によらず、すべての土壤を対象に基準の設定を検討する必要がある。

諸外国においては、ダイオキシン類についてこのような経路を考慮したガイドライン等が設定されている例はないが、我が国では、水産物（魚介類）からのダイオキシン類の摂取の割合が大きいことが指摘されており、また、土壤中に蓄積されたダイオキシン類が、水域へ移行する可能性も指摘されていることから、重要な検討課題であると考えられる。

しかしながら、水域へのダイオキシン類の流入源は、特定汚染源のほか、アス

ファルト等の人工被覆表面の降雨による降下煤塵の流出なども考えられ、土壌中のダイオキシン類が水域に対して、非特定汚染源としてどの程度寄与しているかについては、現在のところ十分な知見はなく、今後、環境への種々の発生源からの蓄積に関する情報、土壌中のダイオキシン類の水域への移行、食物連鎖を通じた移行の実態などについての基礎的な調査データの蓄積が望まれる。

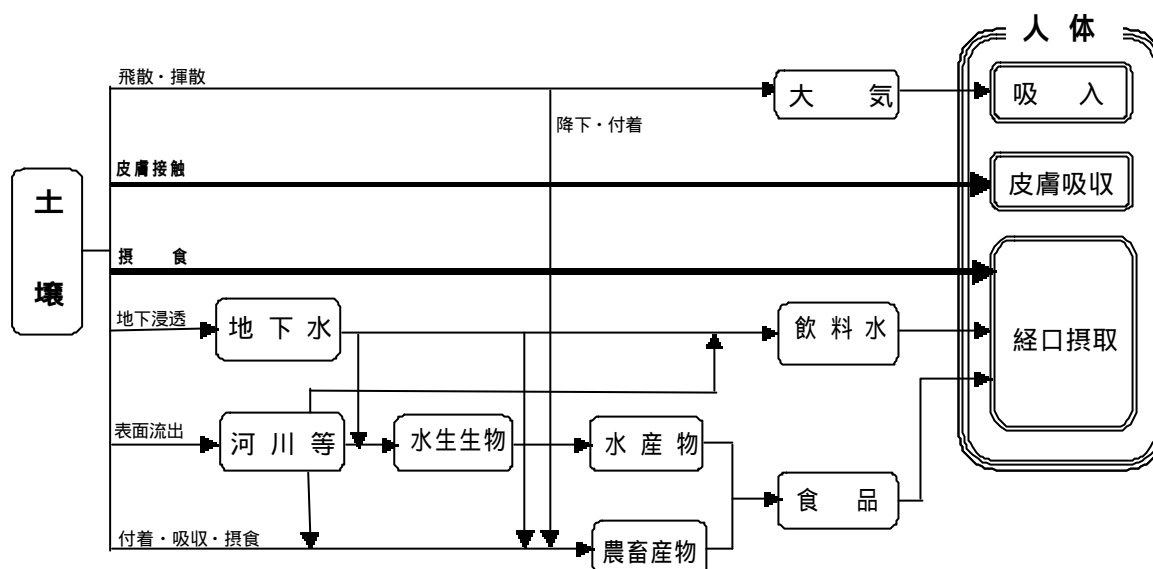


図 土壌を起点とするダイオキシン類の人体への曝露経路

(2) 環境基準等の内容

人の健康を保護するために維持することが望ましい基準（環境基準）

(1) に示した 3 つの曝露経路のうち、現時点での科学的知見を基に環境基準を設定しうるのは、第 1 の土壌の直接摂取の経路についてのみであり、第 2 及び第 3 の経路については、現時点で十分な科学的裏付けの下にその影響の大きさを定量化し、環境基準を設定することは困難な状況にあると考えられる。

土壌の直接摂取による曝露リスクを防止するために、環境庁は、平成11年 7 月、土壌中のダイオキシン類に関する検討会第一次報告を基に、居住地等において対策をとるべき暫定ガイドライン値として1,000pg-TEQ/gを示した。これは、土壌の直接摂取に係る曝露経路として、ア．土壌の摂食（消化管を経由する摂取）、イ．土壌及び巻き上げられた土壌粒子の皮膚接触、ウ．大気中に浮遊する微細な土壌粒子の吸入摂取（肺を経由する摂取）、エ．土壌から蒸散した蒸気の吸入摂取を考え、当該土壌に30年間居住・活動することによるダイオキシン類の吸収量を生涯の一日平均曝露量として推定し、ダイオキシン類の耐容一日摂取量（TDI）（*）に対して、食品や大気の平均的な曝露分を考慮しても、その範囲内にあること等を勘案して提示されたものである。

この暫定ガイドライン値の設定の手法について検討を行ったところ、妥当であると認められることから、一般環境中の土壌の上で居住・活動することによる曝露リスクに着目した、人の健康を保護するために維持することが望ましい環境基準は、1,000pg-TEQ/g以下とすることが適当であると判断される。(参考4参照)

なお、ダイオキシン類が付着した粒子及び蒸気態のダイオキシン類の吸入摂取に係る評価については、土壌由来を含めて大気中のダイオキシン類に係る評価の中で行われることから、直接摂取の曝露経路の内訳としては、土壌の摂食と経皮吸収とする。吸入による曝露経路による推定吸収量は全吸収量の約0.9%程度と寄与は小さい。

* 耐容一日摂取量については、本年6月に環境庁及び厚生省の合同審議会が科学的知見に基づいて検討した結果により、体重1kgあたり4pgとされている。

汚染の進行の防止等の観点から調査を行う基準（調査指標）

ア．設定理由

に示した環境基準と併せ、以下のような点を考慮すると、現状よりも汚染を進行させないとの観点、他媒体を通じた間接的な影響を増加させない観点、土壌中のダイオキシン類に係る知見の集積の観点から、調査を開始する基準が必要である。

- (ア) 2に示したように、我が国の土壌中のダイオキシン類の平均的な濃度は低く、また測定データの分布から、高濃度の汚染は局所的であること。
- (イ) 土壌はいったん汚染されると長期間ダイオキシン類を保持し、土壌がダイオキシン類の環境中への二次的な汚染源となる可能性があること。
- (ウ) 一方、土壌中のダイオキシン類は、汚染源からの排出を抑制すれば、現在以上に汚染が進行することはなく、何らかの移動や分解等により、緩やかではあるが減少すること。
- (エ) また、基準設定に際しての土壌中のダイオキシン類の挙動や曝露量の推定に当たっては、土壌は化学的・物理的に極めて複雑な組成であり、また摂取の実態についても大気や水質に比べて科学的知見が不足しており、不確実性が高いこと。

イ．基準値

ダイオキシン類は有用性がある生産される化学物質ではなく、生物にとって有害で無益なものであるから、将来的には、摂取量をできる限り少なくしていくことが望ましい。特に土壌はいったん汚染されると長期間ダイオキシン類をストックすることから、土壌を経由するダイオキシン類の摂取を将来にわたりできる限り少なくしていくためには、環境基準に適合している場合であっても汚染の進行を防止するよう努めることが望ましい。汚染の進行を効果的に防止するためには、ある程度ダイオキシン類の蓄積が進んでいる地域を効果的かつ的確に把握することが必要である。

そこで、既に得られている土壌中のダイオキシン類に係る全データ（緊急全国一斉調査、農用地土壌調査及び自治体等によるデータの全集合をいう。解析のため、いずれもPCDD及びPCDFについてI-TEFで表したもの。）について、対数正規分布の幾何平均と幾何標準偏差から、上位5%に相当する値を求めると200pg-I-TEQ/g(PCDD及びPCDFのみ。)となる。さらに、これまでの測定例から、土壌中のPCDD及びPCDFに対するCo-PCBの存在割合を0～3割程度とすると、Co-PCBを含むダイオキシン類の濃度の上位5%相当値は概ね200～260pg-TEQ/gとなる。現時点において、このような濃度を超える地点については、追加的な調査や継続的なモニタリングを行うことは有益であると考えられる。

以上から、の基準と併せて調査の指標として250pg-TEQ/gを設定し、モニタリングや調査を開始する基準とすることが、曝露リスクの増大を防止する上で適当であると考えられる。

ウ．調査の内容

250pg-TEQ/gから1,000pg-TEQ/gの範囲内にある土壌の存在が判明した場合には、まず、ダイオキシン類が蓄積した原因の推定に係る資料等の調査を行うとともに、当該土壌の周辺で1,000pg-TEQ/gを超えるおそれがあるため、周辺の状況に応じて土壌の追加調査を行うことが適当である。

また、推定された汚染原因の現況、土壌汚染の程度や広がり、周辺の状況等から、必要に応じて、大気や水などの他の媒体を含めた影響の把握を行うことが望ましい。他の媒体に係る状況の把握は、今後の媒体間のダイオキシン類の移行に係る知見を集積する等の観点からも有用である。

さらに、土壌中のダイオキシン類は、汚染源からの排出を抑制すれば、現在以上に汚染が進行することはなく、光分解や生物分解により、緩やかではあるが減少することが見込まれることから、状況に応じて当該土壌について継続的なモニタリングを行うことが適当である。

なお、250pg-TEQ/gから1,000pg-TEQ/gの範囲内にある土壌については、これを以て土壌の除去等の対策が必要なものと解してはならない。

（３）環境基準の適用対象

（２）に示した環境基準は、土壌の直接摂取による曝露リスクの防止の観点から設定されたものであり、第３の経路である土壌の水域への移行を通じた間接的な曝露リスクについては、現時点で十分な科学的裏付けの下に環境基準を設定することは困難な状況にあると考えられる。しかし、土壌中にストックされたダイオキシン類は、主に粒子状物質に吸着して水域に移行する可能性があること、また報告されているダイオキシン類の有機炭素－水分配定数等から類推すると、土壌中のダイオキシン類はわずかではあるが水に溶解することから、土壌中のダイオキシン類の水域への移行の可能性は否定できない。特に、少なくとも1,000pg-TEQ/gを超える土壌については、水域への移行に対する配慮が必要であると考えられることから（参考５参照）、従来の環境基本法に基づく土壌環境基準のうち水質を浄化し及び地下水を涵養する機能を保全する観点から設定された基準（溶出基準）に係る適用の考え方と同様に、土地利用によらず、すべての土壌に

適用することが適当である。ただし、この環境基準は一般環境における人の健康を保護する観点から適用されるものであり、廃棄物の埋立地その他の場所で一般環境から適切に区別されている施設に係る土壌については適用しないことが適当である。

(4) 環境基準の達成期間等

環境基準の達成期間については、次のとおりとすることが適当である。

環境基準に適合しない土壌については、汚染の程度や広がり、影響の態様等に応じて可及的速やかにその達成維持に努めるものとする。なお、環境基準を早期に達成することが見込まれない場合にあっては、土壌の汚染に起因する環境影響を防止するために必要な措置を講ずるものとする。

なお、環境基準に適合する土壌であっても、土壌はいったん汚染されると長期間ダイオキシン類を保持することから、土壌中のダイオキシン類については、現状程度の水準を大きく上回ることはならないよう努めることが望ましい。特に250pg-TEQ/g以上のダイオキシン類を含む土壌については、これを継続的なモニタリングによって確認することが適当である。

(5) 環境基準の評価のための調査の考え方

環境基準の評価のための調査

土壌汚染に係る調査は、大気や水など拡散しやすい媒体の汚染と異なり、経時的な変化は少ないが局地的な偏りが大きい。このため、定点で観測するよりも地域の土壌の概況を把握することにより、環境基準の評価を行うこととなる。このため、調査の基本的な考え方は以下のとおりとすることが適当である。なお、その詳細は「ダイオキシン類に係る土壌調査暫定マニュアル」及び「土壌中のダイオキシン類に関する検討会第一次報告」に示された調査方法に準拠する。

ダイオキシン類に係る土壌の調査は、目的・契機により、特定の発生源を想定せず一定の地域内の土壌中ダイオキシン類濃度の概況を調査するものと、特定の発生源を想定すること等により特定の場所を対象として調査するものに大別できる。

いずれの場合も、あらかじめ、まず、土地利用状況等を資料等により調査することが重要である。後者の場合には、土壌汚染のおそれのある範囲が推定できる場合にあっては、汚染のおそれのある範囲及びその周辺地域において重点的に調査地点を設定する。

汚染のおそれのある範囲が明らかでない場合には、地域を等間隔で方眼状に区分すること等により試料を採取し、単独採取又は5地点混合法により測定用試料とする。区分の間隔は対象地域の広さや調査目的に応じて適切に設定する。原則として表層から5cmまでを採取する。

なお、農用地において、調査を行う場合には、原則として表層から30cmまでを採取する。

測定方法

土壤中のダイオキシン類の測定方法は、トルエンソックスレーにより抽出し、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析法により測定する「ダイオキシン類に係る土壤調査暫定マニュアル」に示された測定方法に準拠することが適当である。

また、土壤は、同一の地域の土壤について環境基準及び4.に示す指定の要件に照らした評価を同時に行うことがあることから、定量下限値未満をゼロとして取り扱う。なお、定量下限値未満検出下限値以上の数値はそのままとし、検出下限値未満の数値は検出下限値の1/2として算出した値を付記することが適当である。

4 土壤汚染対策地域の指定の要件

(1) 基本的考え方

ダイオキシン類対策特別措置法においては、ダイオキシン類により汚染された土壤に係る措置として、都道府県知事は、当該都道府県の区域内においてダイオキシン類による土壤の汚染の状況が土壤の汚染に係る環境基準を満たさない地域であって、当該地域内の土壤のダイオキシン類による汚染の除去等をする必要があるものとして政令で定める要件（以下「指定要件」という。）に該当するものをダイオキシン類土壤汚染対策地域として指定することができることとされている。

なお、都道府県知事は、対策地域を指定したときは、ダイオキシン類による土壤の汚染の除去等についてダイオキシン類土壤汚染対策計画を定めなければならないこととされている。当該計画は関係各方面の意見を聴くとともに、内閣総理大臣の同意を得て定められるものであり、また汚染土壤の除去等に関する対策には、「公害防止事業費事業者負担法」(*)及び「公害の防止に関する事業に係る国の財政上の特別措置に関する法律」が適用される。

このような法の規定に鑑みると、指定要件の基本的考え方としては、土壤の直接摂取による曝露リスクの防止の観点から設定された環境基準の1,000pg-TEQ/gを超過する地域であって、さらに曝露リスクから見て、一般国民の健康を保護する上で特に対策の必要がある場合を対象とすることが適当である。

* 事業者によるダイオキシン類の排出とダイオキシン類による土壤の汚染との因果関係が科学的知見に基づいて明確な場合に適用する。

(2) 指定要件の内容

(1)の基本的考え方を踏まえ、汚染土壤の指定要件は、土壤中のダイオキシン類の濃度が1,000pg-TEQ/gを超える地域であって、一般国民の居住・活動による汚染土壤の直接摂取のおそれがある場合を指定要件とすることが適当である。

なお、山林原野等においては、当該土壤に30年間居住・活動することによるダ

イオキシン類の吸収量を生涯の一日平均曝露量として推定する曝露アセスメントのシナリオは安全側によっているものであるが、国民全体の曝露リスクを軽減する観点から、不特定多数の一般国民が活動する場合においては、指定要件とすることが適当である。

(3) 対策の考え方

対策の基本的考え方

土壤環境保全対策の基本的な考え方は、ダイオキシン類も含めて、まず第一には発生源対策を行い、汚染土壤の発生を抑制し、また汚染の進行を防止するとともに、その範囲の拡大を抑制することにある。しかし、既に汚染されてしまった土壤については、土壤を安心して利用できるようにする必要がある。土壤の直接摂取による曝露リスクを防ぐためには、汚染土壤からダイオキシン類を除去（分離又は分解）することが望ましいが、これが困難な場合であっても少なくとも曝露経路を遮断することが必要である。

なお、土壤の直接摂取による曝露リスクに着目した場合の曝露経路の遮断は、汚染土壤を適切に被覆すること等である。

また、具体的な対策手法として、汚染土壤からダイオキシン類を除去する対策手法には化学的脱塩素化、生物学的処理、熱分解等がある。また、汚染土壤を被覆する対策手法には覆土・植栽工、舗装工等がある。それぞれについて、汚染土壤を掘削除去する場合と、掘削除去せずに原位置で実施する場合とがある。

対策の実施に当たっての留意事項

ダイオキシン類汚染土壤について対策を実施するに当たっては、以下の点を勘案して最も適切な対策手法を選定する必要がある。

ア．汚染の規模・濃度

イ．汚染地域の土地利用形態の現状及び将来の計画

ウ．同時に検出された他の汚染物質の性質

エ．汚染地域の土壤の質、地形及び周辺地域の状況

オ．対策技術の適用可能性

あわせて、対策の実施に当たっては、あらかじめ以下の項目についても検討することが適当である。

カ．応急対策の必要性和内容

キ．運搬・保管を伴う場合の手法

ク．周辺環境保全対策及びモニタリング

ケ．効果の確認の方法

コ．被覆対策の場合の管理方法

さらに、汚染土壤の被覆を行う場合には、容易にその機能が損なわれないよう施工するとともに、対策の実施後も、被覆の状況についての管理及び記録の承継が必要である。また、対策後の土地利用は、被覆機能を損なうことのないよう留意する必要がある。

5．今後の課題

ダイオキシン類対策特別措置法に基づくダイオキシン類による土壤の汚染に係る環境基準及び土壤汚染対策地域の指定の要件について、現在得られている科学的知見を基にとりまとめたが、土壤中のダイオキシン類の環境中の挙動はなお未解明の部分も多い。したがって、土壤中のダイオキシン類による曝露リスクのより一層の低減のためには、関連する科学的知見の集積及び評価が不断に行われ、その結果が施策に的確かつ迅速に反映されることが極めて重要である。また、土壤汚染対策地域における対策を推進するため、土壤中ダイオキシン類の効率的な調査手法並びに浄化技術等の開発を促進することが重要である。

以上を踏まえて、特に以下に掲げる課題について対応することが必要である。

我が国の土壤へのダイオキシン類の吸着及び脱着に係る特性やダイオキシン類の土壤中での存在状態、土壤中ダイオキシン類の経年変化等、土壤中の挙動に係る基礎的な知見を集積すること。

土壤の直接摂取による曝露リスクについては、環境基準の算出の根拠となっている曝露アセスメントで用いている一日当たり土壤の摂食量や吸収率等の諸定数について、引き続き我が国の実態を踏まえた実測データ等の知見の集積に努め、その評価結果に基づき、必要な見直しを行うこと。

農作物を経由した曝露リスクについては、我が国では、一部作物（水稻）では農用地土壤と農作物のダイオキシン類濃度に相関が見られないと示唆する調査結果があるものの、現時点では農用地土壤及び農作物調査測定例が少なく、環境基準の検討において土壤を起点とする農作物を経由した曝露リスクを考慮することは困難であることを踏まえ、今後、この曝露リスクに係る基準設定の必要性を判断するために、農用地土壤及び農作物中のダイオキシン類の調査及び農畜産物への移行の有無の実態に関する詳細な調査を行うこと。

環境中に排出され土壤中に蓄積されたダイオキシン類が水域に移行し、食物連鎖を経て水産物を経由する曝露リスクについては、水質及び底質に係る知見の集積状況を踏まえ、土壤中ダイオキシン類の水域への寄与等に係る実測データの集積、ダイオキシン類の環境中の挙動モデルの構築等を行い、モデルに必要な諸定数に係る知見の集積等に積極的に努め、環境基準及び指定要件について、当該経路に係る曝露リスクを踏まえた必要な見直しを行うこと。

土壤汚染の把握、汚染範囲の確定等を効率よく行うための、土壤中ダイオキシン類の効率的な調査手法を策定するとともに、土壤中のダイオキシン類を安全・確実に浄化する技術の開発、及びダイオキシン類による土壤汚染対策として実施される覆土、植栽、浄化等多様な対策手法による環境リスクの低減効果や周辺環境への影響等に係る知見を集積し、土壤中ダイオキシン類に係る調査・対策技術の総合的体系を構築すること。

6 . おわりに

ダイオキシン類対策特別措置法に基づくダイオキシン類による土壌の汚染に係る環境基準の設定等及び土壌汚染対策地域の指定の要件に係る 2 つの諮問事項に対する検討結果をとりまとめた。

法の施行に伴い、土壌環境等の常時監視や調査などにより、ダイオキシン類に関する環境中濃度やその挙動に係る知見はさらに充実するものと考えられる。

今後、ダイオキシン類に係る土壌環境の保全対策が着実に推進されることを期待する。

(参考文献)

- ・環境庁(1999)土壌中のダイオキシン類に関する検討会第一次報告(平成11年7月)
- ・環境庁(1999)ダイオキシン類緊急全国一斉調査 - 平成10年度実施 - (平成11年9月)
- ・環境庁(1999)平成10年度農用地土壌及び農作物に係るダイオキシン類調査結果について
- ・環境庁(1998)ダイオキシン類に係る土壌調査暫定マニュアル(平成10年1月)

参考 1

ダイオキシン類の毒性等価係数 (T E F)

1 P C D D

	WHO-TEF(1998)	I-TEF(1988)
2,3,7,8-TCDD	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01
OCDD	0.0001	0.001
他の PCDD	0	0

2 P C D F

	WHO-TEF(1998)	I-TEF(1988)
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01
OCDF	0.0001	0.001
他の PCDF	0	0

3 コプラナー P C B

	WHO-TEF(1998)	I-TEF(1988)
3,4,4',5-TCB	0.0001	0
3,3',4,4'-TCB	0.0001	0.0005
3,3',4,4',5-PeCB	0.1	0.1
3,3'4,4',5,5'-HxCB	0.01	0.01
2,3,3',4,4'-PeCB	0.0001	0.0001
2,3,4,4',5-PeCB	0.0005	0.0005
2,3',4,4',5-PeCB	0.0001	0.0001
2',3,4,4',5-PeCB	0.0001	0.0001
2,3,3'4,4',5-HxCB	0.0005	0.0005
2,3,3'4,4',5'-HxCB	0.0005	0.0005
2,3'4,4',5,5'-HxCB	0.00001	0.00001
2,3,3'4,4',5,5'-HpCB	0.0001	0.0001
2,2',3,4,4',5,5'-HpCB	0	0.00001
2,2',3,3',4,4',5-HpCB	0	0.0001
他のコプラナーPCB	0	0

WHO-TEF(1998)は、1997年にWHOから提案されたため、従来WHO-TEF(1997)とされていた。

参考 2

土壌中のダイオキシン類に係る測定結果の分布

これまでに得られた我が国の土壌中のダイオキシン類の測定結果の分布を示す。

1 PCDD及びPCDF

(1) 環境庁による調査 (WHO-TEF(1998)によるTEQ)

調査区分	n	算術平均	検出範囲	幾何平均	幾何標準偏差	注
緊急全国調査(環境庁)1)	344	6.2	0.00067 ~ 110	1.5	7.8	
一般環境	125	5.4	0.02 ~ 61	1.5	6.5	
発生源周辺	219	6.8	0.06 ~ 110	1.6	8.6	
農用地調査2)	52	28	0.063 ~ 130	12.7	5.0	*
緊急全国 + 農用地	396	9.1	0.02 ~ 130	2.0	8.4	*

(2) 自治体等による調査3) (I-TEFによるTEQ)

自治体等による調査	1,093	95	ND ~ 21000	7.2	9.4	
一般環境	589	12	ND ~ 370	3.1	7.0	
発生源周辺	504	190	0.012 ~ 21000	19	8.8	

2 ダイオキシン類

調査区分	n	算術平均	検出範囲	幾何平均	幾何標準偏差	注
緊急全国調査(環境庁)1)	286	6.6	0.002 ~ 61	1.9	7.0	
一般環境	125	5.9	0.02 ~ 61	1.9	5.8	
発生源周辺	161	7.1	0.002 ~ 49	1.9	8.0	
農用地調査2)	52	28	0.066 ~ 130	13	4.9	*
緊急全国 + 農用地	338	9.9	0.002 ~ 130	2.5	7.6	*

出典)

- 1)環境庁(1999) ダイオキシン類緊急全国一斉調査結果について - 平成10年度実施 - (平成11年9月24日)
- 2)環境庁(1999) 平成10年度農用地土壌及び農作物に係るダイオキシン類調査結果について (平成11年9月24日)
- 3)環境庁・土壌中のダイオキシン類に関する検討会(1999) 土壌中のダイオキシン類に関する検討会第一次報告, pp53-57 (平成11年7月14日)。(大阪府能勢町の焼却炉敷地内の5200万pg-TEQ/gを除く。発生源敷地内のものを含む。)

注)

*を付したデータについては幾何平均及び幾何標準偏差は対数正規分布仮定時。そのほかのデータはいずれもカイ二乗検定の結果、対数正規分布がもっとも適合度が高い。

NO.	作物種	土 壌(pg-TEQ/g)			農作物(pg-TEQ/g-wet)		
		PCDD+PCDF	Co-PCB	PCDD+PCDF+ Co-PCB	PCDD+PCDF	Co-PCB	PCDD+PCDF+ Co-PCB
1	キャベツ	3.1	0.42	3.5	nd	0.000092	0.000092
2		1.3	0.20	1.5	0.012	0.00031	0.012
3		3.3	0.42	3.7	0.0026	0.00012	0.0027
4		64	0.56	65	nd	0.00011	0.00011
5		25	0.42	25	0.000056	0.00011	0.00016
6		42	0.66	43	nd	0.00040	0.00040
7		21	0.37	21	0.017	0.0014	0.018
8		5.2	0.0055	5.2	0.0025	0.000076	0.0026
9	甘藷	0.063	0.0027	0.066	nd	0.00037	0.00037
10		4.3	0.24	4.5	nd	0.00025	0.00025
11		30	0.0054	30	0.00016	0.00047	0.00063
12		1.6	0.95	2.5	0.00011	0.00025	0.00036
13		23	0.29	23	0.0020	0.00031	0.0023
14		3.3	0.0025	3.3	0.047	0.00018	0.047
15	水稻 (玄米)	48	0.49	48	0.0086	0.00026	0.0088
16		39	0.48	40	0.014	0.00035	0.014
17		48	0.96	49	0.050	0.00066	0.051
18		54	0.38	54	nd	0.00019	0.00019
19		23	9.8	33	0.021	0.018	0.039
20		15	0.017	15	0.0071	0.0067	0.014
21		72	0.45	72	0.0056	0.00036	0.0060
22		31	0.012	31	nd	0.00027	0.00027
23		37	1.4	38	0.016	0.019	0.035
24		69	1.4	71	0.071	0.00033	0.071
25		120	3.3	130	0.013	0.00054	0.014
26		15	1.0	16	0.010	0.036	0.046
27		32	0.81	33	0.13	0.0015	0.13
28		50	0.80	51	0.021	0.018	0.039
29		35	0.82	35	0.0081	0.00030	0.0084
30		32	0.53	32	0.016	0.00042	0.016
31		38	0.037	39	nd	0.0017	0.0017
32		130	0.23	130	nd	0.00023	0.00023
33		70	0.41	70	nd	0.00027	0.00027
34		58	0.020	58	nd	0.00035	0.00035
35	大根	12	0.21	12	0.00074	0.00013	0.00087
36		2.5	0.54	3.0	0.000035	0.00010	0.00013
37		15	0.23	15	0.0018	0.000075	0.0019
38		4.7	0.50	5.2	nd	0.000071	0.000071
39		17	0.067	17	0.00055	0.00015	0.00070
40		2.4	0.22	2.7	0.000020	0.000073	0.000093
41		3.0	0.31	3.3	0.000093	0.00010	0.00019
42	馬鈴薯	10	0.48	11	0.0018	0.019	0.021
43		0.16	0.0010	0.16	0.00023	0.00010	0.00033
44		24	0.77	25	0.0060	0.00054	0.0066
45		21	0.030	21	0.00022	0.00025	0.00047
46		39	0.022	39	0.0087	0.00033	0.0090
47	牧草	0.56	0.0048	0.56	0.017	0.0013	0.018
48		1.8	0.027	1.8	0.010	0.016	0.026
49		4.2	0.27	4.4	0.016	0.020	0.036
50		15	0.19	15	0.014	0.029	0.043
51		2.9	0.14	3.0	0.61	0.0057	0.61
52		26	0.18	27	0.00055	0.0039	0.0044

注) 有効数字 2 桁で記載した。なお、PCDD+PCDF+Co-PCBの欄は、PCDD+PCDF及びCo-PCBのそれぞれ丸め操作前のTEQ換算値を加算し、下 3 桁目を四捨五入した数値なので、合計値が合わないことがある。

参考 4

直接摂取に着目した「1,000pg-TEQ/g以下」の設定手法

(1) 前提：土壌中のダイオキシン類の半減期は無限大と仮定。

(2) 曝露経路とデフォルト値

ア．土壌の摂食（消化管を経由する経口摂取）

1 日当たりの土壌摂食量：子供 150～200mg/day、大人 50～100mg/day

土壌中のダイオキシン類の吸収率：10～40%

曝露頻度：年間365日

イ．土壌及び巻き上げられた土壌粒子の皮膚接触（皮膚吸収）

皮膚面積あたりの土壌の皮膚接触量：0.5mg/cm²

曝露する皮膚面積：子供 2,800cm²、大人 5,000cm²

土壌中のダイオキシン類の吸収率：1%

曝露頻度：晴天率0.6×{子供毎日(7/7)、大人週末(2/7)}

(3) 土壌中のダイオキシン類に対する生涯の平均曝露リスクの算定

汚染土壌における継続居住年数：30～70年

生涯の一日平均吸収量 (pg-TEQ/kg/day) =

$$\frac{(\text{子供の一日当たりの曝露量}) \times 6 + (\text{大人の一日当たりの曝露量}) \times (\text{曝露期間} - 6)}{70(\text{年}) \times 50(\text{kg})}$$

(居住年数30年の場合は、生涯70年のうち汚染土壌に30年（子供6年間及び大人24年間）、一般的な環境中の土壌（20pg-TEQ/g）に40年間滞在するとして計算。）

(4) 吸収量の推定

幅で示したデフォルト値（曝露期間、土壌摂食量、土壌摂食の吸収率）について、いずれも最小値又は最大値を用いて土壌の直接摂取による吸収量を推定すると、

土壌中濃度 1,000pg-TEQ/g に対し 0.11～0.97pg-TEQ/kg/day

さらに、現時点で最も妥当性の高い推定値（曝露期間30年、土壌摂食量大人100mg/day及び子供200mg/day、土壌摂食の吸収率25%）を用いて土壌の直接摂取による吸収量を推定すると、

土壌中濃度 1,000pg-TEQ/g に対し 0.31pg-TEQ/kg/day

以上から、我が国の耐容一日摂取量（TDI）並びに食品及び大気からの吸収量を勘案して、土壌の直接摂取による曝露について、ダイオキシン類濃度1,000pg-TEQ/g以下を環境基準とすることは妥当と判断。

参考 5

土壌中濃度と水中濃度の関係についての試算

1 EPA モデルによる試算¹⁾

米国 EPA の土壌中ダイオキシンの表層水及び底質への移行に関するモデルの考え方(土壌が浸食され、ある流出率で河川に移行し、河川中の SS になる。流入した土壌粒子の残りは底質に沈降)を使用する。

表層水と懸濁粒子を含む底質への汚染土壌中のダイオキシン類の移行経路としては、土壌侵食が主要な経路と考えられる。水域に流入した土壌粒子は、一部が懸濁粒子として水中に存在するが、残りの多くの部分は沈降し底質に移行する。

懸濁粒子を含む表層水中のダイオキシン類濃度(C_{water})は、定常状態を仮定して次式で算出される。

$$C_{water} = \frac{C_s \cdot ER \cdot ENRICH \cdot FS \cdot SD}{V_{water}} \quad (1)$$

ここで、 C_s 及び ER はそれぞれ土壌中ダイオキシン類濃度及び侵食により土壌から水域に流入する年間土壌量である。 $ENRICH$ 、 FS 及び SD はそれぞれ、流入土壌のエンリッチメント比、水中懸濁粒子存在比及び水域への流出率であり、 V_{water} は水域の年間流量である。水域に流入する年間土壌量(ER)は次式で算出される。

$$ER = EROSIN \cdot AREA \cdot BD_{soil} \quad (2)$$

ここで、 $EROSIN$ は表土の流出速度、 $AREA$ は対象地域面積、 BD_{soil} は土壌のバルク密度である。

水域の年間流量(V_{water})は、対象地域面積($AREA$)、降雨量($RAIN$)及び水域への流達率($Frunoff$)から次式で算出される。

$$V_{water} = RAIN \cdot AREA \cdot Frunoff \quad (3)$$

水中において浸食土壌が懸濁粒子として存在する比率(FS)は次式で算出される。

$$FS = \frac{TSS \cdot V_{water}}{ER} \quad (4)$$

(1)に(2)~(4)を代入すると、次式のとおりとなる。

$$C_{water} = C_s \cdot ENRICH \cdot TSS \cdot SD \quad (5)$$

○ $ENRICH$ (エンリッチメント比：土壌侵食が軽い粒子から起こり、軽い粒子ほど比表面積及び有機炭素含有率が高いことに対する補正值)は EPA の値を参考に 3.00 とする。

○ TSS (水中の懸濁粒子(SS)濃度)は平均 10mg/L とする。(平成 9 年度公共用水域水質測定結果、全河川の SS 濃度の平均値)

○ SD (流出率：集水域全体の粒子輸送比)は EPA の値を参考に 0.15 とする。(この値は米国に対して開発されたもので、同じ手法で推算すれば我が国では平均 0.1 となる。また、理論上の最大値は 1.0 である。)

* 面積、降雨量は計算結果に影響を及ぼさない。

以上から計算すると、提案されているダイオキシン類に係る水質環境基準 1 pg-TEQ/L に対応する土壌中の濃度は、流域における汚染土壌の占める割合を 100%とすると約 230pg-TEQ/g、汚染土壌の占める割合を 1% (99%はバックグラウンドレベルとして 10pg-TEQ/g)とすると 21,000pg-TEQ/g となる。

1) U.S.EPA (1994) Estimating Exposure to Dioxin-like Compounds. Volume III: Site-specific Assessment Procedures. External review draft. EPA/600/6-88/005Cc

2 エンリッチメント比及び流出率を考慮しない場合の試算

EPA のモデルをにおいては、エンリッチメント比 (*ENRICH*) 及び流出率 (*SD*) を考慮しているところであるが、我が国においては土壌が多種多様でありエンリッチメント比に関する十分な知見がないこと、流域ごとに土壌の流出状況が異なることを考慮して、

- *ENRICH* (エンリッチメント比) は、土壌浸食が均一に起こると仮定して 1.00 とする。
- *SD* (流出率) は、理論上の最大値である 1.0 とする。

と仮定すると、(5) は次式のとおりに簡略化できる。

$$C_{water} = C_s \bullet TSS \quad (6)$$

TSS (水中の懸濁粒子(SS)濃度) を平均 10mg/L とすると、提案されているダイオキシン類に係る水質環境基準 1 pg-TEQ/L に対応する土壌中の濃度 C_s は 100pg-TEQ/g となる。

【備考】

これらの試算は、懸濁粒子がすべて土壌に由来すると仮定しているものであるが、水域へのダイオキシン類の流入源としては、特定汚染源のほか、アスファルト等の人工被覆表面の降雨による降下煤塵の流出なども考えられることに留意する必要がある。

ダイオキシン類対策特別措置法における土壌汚染対策の体系

ダイオキシン類対策特別措置法
(平成11年7月16日法律第105号)

