

Ⅲ. 人におけるばく露実態調査

目 次

(1) ダイオキシン類のばく露量の推計に使用したデータ.....	1
(2) 算術平均値による個人総ばく露量の推計.....	3
(3) 幾何平均値による個人総ばく露量の推計.....	6
(4) モンテカルロシミュレーションによる個人総ばく露量の推計.....	8
(5) 結論.....	15

(1) ダイオキシン類のばく露量の推計に使用したデータ

ダイオキシン類のばく露量の推計を行うため、平成17年度に実施された環境指標(大気、土壌)のダイオキシン類に係る調査結果を整理した。また食事については、平成17年度に実施された食品からの調査結果を用いたが、次章の統計的手法による推計で用いるため、平成14～17年度の調査結果も合わせて整理した。本調査に用いたダイオキシン類調査を表1に示した。

また、収集したデータのうちばく露量の推計に用いるものは、環境指標(大気、土壌)に関しては、基本的に一般環境と沿道の測定値のみとした(発生源周辺のデータは含まない)。その集計結果を媒体ごとに表2に示した。参考値として、発生源周辺のデータを含む場合の集計結果を表3に示した。

表1 ダイオキシン類のばく露量の推計に使用したデータ

公表日	調査主体(省庁)	調査主体(部局)	調査名/資料名/報道発表資料タイトル
平成16年3月16日	厚生労働省	医薬食品局食品安全部	平成14年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査結果について
平成16年12月27日	厚生労働省	医薬食品局食品安全部	平成15年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査結果について
平成18年2月9日	厚生労働省	医薬食品局食品安全部	平成16年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査結果について
平成18年9月26日	厚生労働省	医薬食品局食品安全部	平成17年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査等の調査結果について
平成18年12月8日	環境省	水・大気環境局(総務課ダイオキシン対策室・大気環境課・水環境課・土壌環境課・土壌環境課地下水・地盤環境室)	平成17年度ダイオキシン類に係る環境調査結果

注) 本表に記載したいずれの調査においても、毒性等量 (TEQ: Toxic Equivalent Quantity) の算出には、WHO の1998年版の毒性等価係数 (TEF: Toxic Equivalency Factor) (TEF1998)が用いられている。よって以降はすべてTEF1998に基づく。

表2 集計結果（一般環境・沿道）

媒体名称	単位	年度	データ数	最小値	25%点	中央値	75%点	最大値	算術 平均値	幾何 平均値	標準 偏差
大気	pg-TEQ/m ³	17	695	0.0045	0.028	0.046	0.065	0.61	0.051	0.043	0.038
土壌	pg-TEQ/g	17	1314	0	0.032	0.18	1.5	73	2.0	0.23	6.0
食事(トータルダイエツスタデイ)	pg-TEQ/kg/day	17	27	0.47	0.68	1.15	1.51	3.56	1.20	1.07	0.66
食事(トータルダイエツスタデイ)	pg-TEQ/kg/day	14, 15, 16, 17	123	0.47	0.86	1.28	1.77	3.56	1.37	1.23	0.64

- 注1) 大気と土壌は、一般環境及び沿道における測定値（発生源周辺を含まない）。食事（食品からのダイオキシン類一日摂取量調査：トータルダイエツスタデイ）では、調査時において一般環境、沿道、発生源周辺等の区分はされてない。
- 注2) 25%点、75%点とは、データの集合を値の大きさによって4つに分割したときに、小さい値の方のデータ群がちょうど与えた百分率だけ存在するような境の値のこと。
- 注3) 大気の測定値は、各異性体の測定濃度が定量下限未満で検出下限以上の場合はそのままその値を用い、検出下限未満の場合は検出下限の1/2の値を用いて毒性等量を算出している。土壌の測定値は、各異性体の測定濃度が定量下限未満の場合は、0として毒性等量を算出している。
- 注4) 幾何平均値は0を除外して算出している。測定値が0のデータ数は、土壌の71データであった。

(参考) 表3 集計結果（一般環境・沿道・発生源周辺）

媒体名称	単位	年度	データ数	最小値	25%点	中央値	75%点	最大値	算術 平均値	幾何 平均値	標準 偏差
大気	pg-TEQ/m ³	17	898	0.0039	0.027	0.045	0.065	0.61	0.051	0.042	0.042
土壌	pg-TEQ/g	17	1782	0	0.050	0.35	2.4	2800	5.9	0.34	79
食事(トータルダイエツスタデイ)	pg-TEQ/kg/day	17	27	0.47	0.68	1.15	1.51	3.56	1.20	1.07	0.66
食事(トータルダイエツスタデイ)	pg-TEQ/kg/day	14, 15, 16, 17	123	0.47	0.86	1.28	1.77	3.56	1.37	1.23	0.64

- 注1) 大気と土壌は、一般環境、沿道及び発生源周辺における測定値。ただし「発生源周辺」は、都道府県及び政令市の区域内において、数年程度で区域内の主要な発生源が選定されるよう年次計画を立てて調査地点を選定した地点であり、結果的に一般環境と同様な地点も含む場合がある。食事（食品からのダイオキシン類一日摂取量調査：トータルダイエツスタデイ）では、調査時において一般環境、沿道、発生源周辺等の区分はされてない。
- 注2) 25%点、75%点とは、データの集合を値の大きさによって4つに分割したときに、小さい値の方のデータ群がちょうど与えた百分率だけ存在するような境の値のこと。
- 注3) 大気の測定値は、各異性体の測定濃度が定量下限未満で検出下限以上の場合はそのままその値を用い、検出下限未満の場合は検出下限の1/2の値を用いて毒性等量を算出している。土壌の測定値は、各異性体の測定濃度が定量下限未満の場合は、0として毒性等量を算出している。
- 注4) 幾何平均値は0を除外して算出している。測定値が0のデータ数は、土壌の71データであった。

(2) 算術平均値による個人総ばく露量の推計

(1) に基づき、大気経由、土壌経由及び食事経由の平均ばく露量から平均的な個人総ばく露量を推計した。経路ごとのばく露量の推計方法は、以下のとおりである。

① 大気経由

1 日当たりの呼吸量を 15 m³、体重を 50 kg と仮定して算出した。

大気経由のばく露量 (pg-TEQ/kg/day) (0.015)	=	大気中のダイオキシン類 濃度(pg-TEQ/m ³) (0.051)	×	1 日当たりの呼吸量 (m ³ /day) (15)	÷	体重 (kg) (50)
---	---	--	---	---	---	--------------------

② 土壌経由

1 日当たりの土壌摂食量を 100 mg、体重を 50 kg と仮定して算出した。

土壌経由のばく露量 (pg-TEQ/kg/day) (0.0041)	=	土壌中のダイオキシン類 濃度(pg-TEQ/g) (2.0)	×	1 日当たりの土壌の 摂食量(g/day) (0.1)	÷	体重 (kg) (50)
--	---	--------------------------------------	---	-----------------------------------	---	--------------------

③ 食事経由

体重を 50 kg と仮定して算出した。

食事経由のばく露量 (pg-TEQ/kg/day) (1.20)
--

なお、大気、土壌中のダイオキシン類濃度は(1)で整理した算術平均値を、食事については「平成 17 年度食品からのダイオキシン類一日摂取量調査(厚生労働省)」の結果の算術平均値を用いた。

以上により、平成 17 年度調査に基づいた我が国における平均的なばく露量は 1.22 pg-TEQ/kg/day 程度であると考えられる。個人総ばく露量について推計した結果(一般環境・沿道)を表 4 に、その内訳を図 1 に示す。

また、参考として、大気及び土壌の発生源周辺の濃度データも入れて推計した結果を表 5 に示した。

表 6 及び図 2 には、本調査における平成 11 年度からの個人総ばく露量の推移を示した。

表4 我が国における平均的な個人総ばく露量の推計結果
(一般環境・沿道)

(単位 pg-TEQ/kg/day)

大気	0.015
土壌	0.0041
食事	1.20
計	1.22



図1 個人総ばく露量の内訳 (平成17年度)

(参考) 表5 我が国における平均的な個人総ばく露量の推計結果
(一般環境・沿道・発生源周辺)

(単位 pg-TEQ/kg/day)

大気	0.015
土壌	0.012
食事	1.20
計	1.23

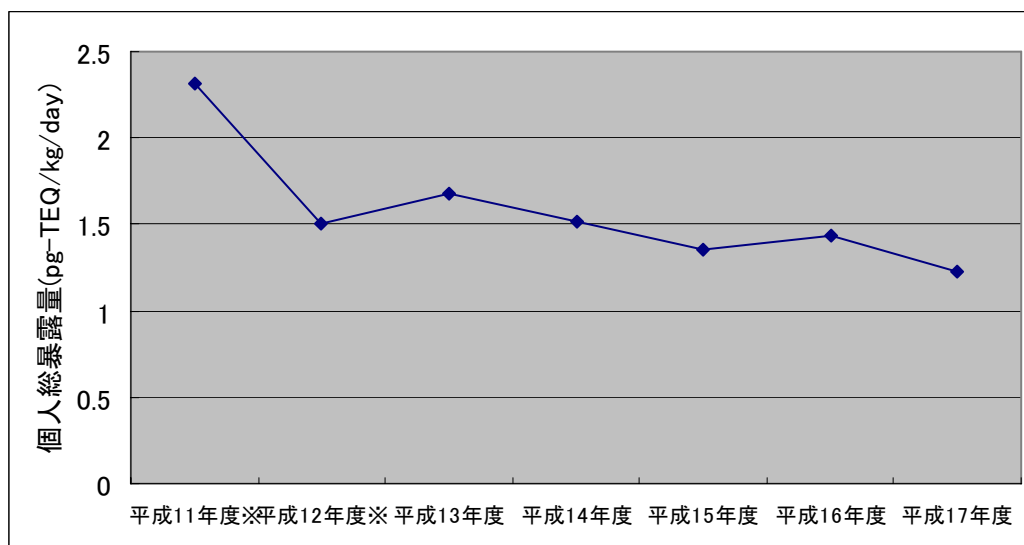
注) ただし「発生源周辺」は、その可能性によって調査している地点も含むため、結果的に一般環境と同様な地点も含む。

表6 個人総ばく露量の推計結果の推移

(単位 pg-TEQ/kg/day)

	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
大気	0.060	0.042	0.042	0.028	0.019	0.018	0.015
土壌	0.011	0.0092	0.0064	0.0068	0.0052	0.0044	0.0041
食事	2.25	1.45	1.63	1.49	1.33	1.41	1.20
計	2.32	1.50	1.68	1.52	1.35	1.43	1.22

注) 平成11年度、12年度の推計値は、平成13年度以降の推計方法に合わせ、大気中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」及び「沿道」における測定値とし、土壌中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」における測定値として従来の報告書の推計値を算出し直したもの(ただし、平成12年度に関しては、算出し直した後も推計結果は同じとなった)。



※ 平成11年度、12年度の推計値は、平成13年度以降の推計方法に合わせ、大気中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」及び「沿道」における測定値とし、土壌中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」における測定値として従来の報告書の推計値を算出し直したもの(ただし、平成12年度に関しては、算出し直した後も推計結果は同じとなった)。

図2 個人総ばく露量の推計結果の推移

(3) 幾何平均値による個人総ばく露量の推計

一般に環境媒体中の汚染物質濃度の分布は対数正規分布を示すという指摘もあるため、統計的な推計値として、(1)の環境媒体及び食事(平成17年度トータルダイエツトスタディ)の調査結果の幾何平均値(大気:0.043 pg-TEQ/m³、土壌:0.23 pg-TEQ/g、食事:1.07 pg-TEQ/kg/day)を用いて、個人総ばく露量の推計を行った。推計は、第1章(2)に示した方法にこれらの幾何平均値をあてはめて実施した。

幾何平均値を用いた我が国における平均的なばく露量は、1.08 pg-TEQ/kg/day程度であると考えられる。幾何平均値を用いて個人総ばく露量について推計した結果を表7に示す。

表8及び図3には、本調査における平成11年度からの幾何平均値を用いた個人総ばく露量の推移を示した(図3には、参考として算術平均値のグラフも含む)。

表7 幾何平均値を用いた個人総ばく露量の推計結果
(単位 pg-TEQ/kg/day)

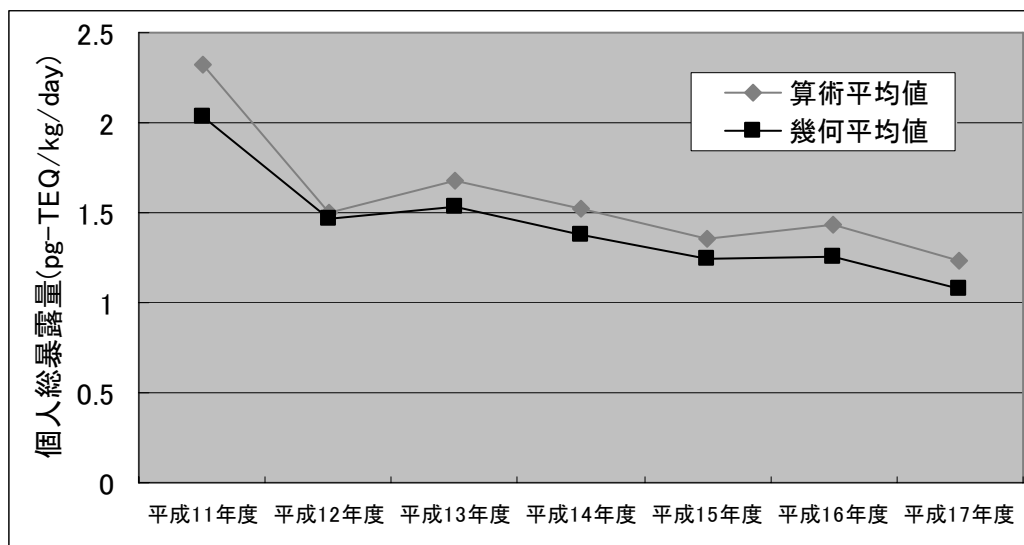
大気	0.013
土壌	0.00046
食事	1.07
計	1.08

表8 幾何平均値を用いた個人総ばく露量の推計結果の推移

(単位 pg-TEQ/kg/day)

	平成11年度	平成12年度	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度
大気	0.045	0.032	0.029	0.021	0.015	0.014	0.013
土壌	0.00094	0.00080	0.00058	0.00078	0.00046	0.00046	0.00046
食事	1.98	1.44	1.50	1.36	1.22	1.25	1.07
計	2.03	1.47	1.53	1.38	1.24	1.26	1.08

注) 平成11年度、12年度の推計値は、平成13年度以降の推計方法に合わせ、大気中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」及び「沿道」における測定値とし、土壌中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」における測定値として従来の報告書の推計値を算出し直したもの(ただし、平成12年度に関しては、算出し直した後も推計結果は同じとなった)。



※ 平成11年度、12年度の推計値は、平成13年度以降の推計方法に合わせ、大気中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」及び「沿道」における測定値とし、土壌中ダイオキシン類濃度に用いるデータを「一般環境」における測定値として従来の報告書の推計値を算出し直したもの(ただし、平成12年度に関しては、算出し直した後も推計結果は同じとなった)。

図3 幾何平均値を用いた個人総ばく露量の推計結果の推移(算術平均値のグラフも含む)

(4) モンテカルロシミュレーションによる個人総ばく露量の推計

ダイオキシン類の環境媒体や食事からのばく露量は不確実性を伴って値のばらつきを示すものであるため、これを確率論的に扱う手法の一つであるモンテカルロシミュレーションを用いて個人総ばく露量の推計を行った。モンテカルロシミュレーションはいくつかの確率論的なインプット変数に対してアウトプット変数の分布の推計をすることを目的としたサンプリング実験である。すなわち、あるアウトプット変数の分布を決定するいくつかのインプット変数に対して個々に分布の型を仮定し、統計学的手法で乱数を発生させ、その乱数に従ってそれぞれのインプット変数の仮定分布からサンプリングを行う。このサンプリングをアウトプット変数の分布が確定するのに十分な回数行い、アウトプット変数をシミュレートするという手法である。

このモンテカルロシミュレーションにより、我が国のダイオキシン類個人総ばく露量分布の推計を試みた。

モデルの設定

ダイオキシン類による個人総ばく露量をシミュレートするに当たり、「大気中のダイオキシン類濃度」「土壌中のダイオキシン類濃度」および「食事経由のばく露量」の3つをインプット変数として、以下のモデルを設定した。

$$\text{個人総ばく露量} = \text{①} + \text{②} + \text{③}$$

①～③の算出方法は、(2)に示したとおりである。

実測データの分布の検討

各インプット変数の確率密度分布は、平成17年度の一般環境及び沿道の大気中及び土壌中ダイオキシン類濃度測定値、並びに平成14～17年度の食事（トータルダイエットスタディ）の調査結果（表2）に基づき、これらの実測データに統計学的にもっとも適合すると考えられた分布をあてはめることとし、最小値を0、最大値を発生源周辺も含めた実測データの最大値として適用した。なお、本推計では、用いたデータに対する統計学的な適合度のみに基づき、利用可能な確率密度関数を決定している。

表9に、各インプット変数に適用した仮定分布を示した。図4、図6、図8にそれぞれ適用した分布の型（線グラフ）と実測データのヒストグラムを示した。また、図5、図7、図9に各変数の仮定分布と実測値とのP-Pプロットを示した。

- 注 1) 確率密度分布：起こりうる事象とその実現確率を示す分布。例として正規分布など。
- 注 2) 土壤中ダイオキシン類濃度が 0 の測定値に関しては、除外して分布の検討を行っている。
- 注 3) トータルダイエツトスタディについては、分布の検討に十分なデータ数を得るため、平成 14 年度～17 年度の調査結果を合わせて用いた。

表 9 インプット変数の分布の仮定

変数	食事経由ばく露量 (pg-TEQ/kg/day)	大気中濃度 (pg-TEQ/m ³)	土壤中濃度 (pg-TEQ/g)
適用した分布の型	対数正規分布	対数正規分布	対数正規分布
パラメータ	幾何平均 1.23 幾何標準偏差 1.59	幾何平均 0.04 幾何標準偏差 1.83	幾何平均 0.23 幾何標準偏差 12.27
分布の範囲	最小値 0 最大値 3.56	最小値 0 最大値 0.61	最小値 0 最大値 2800

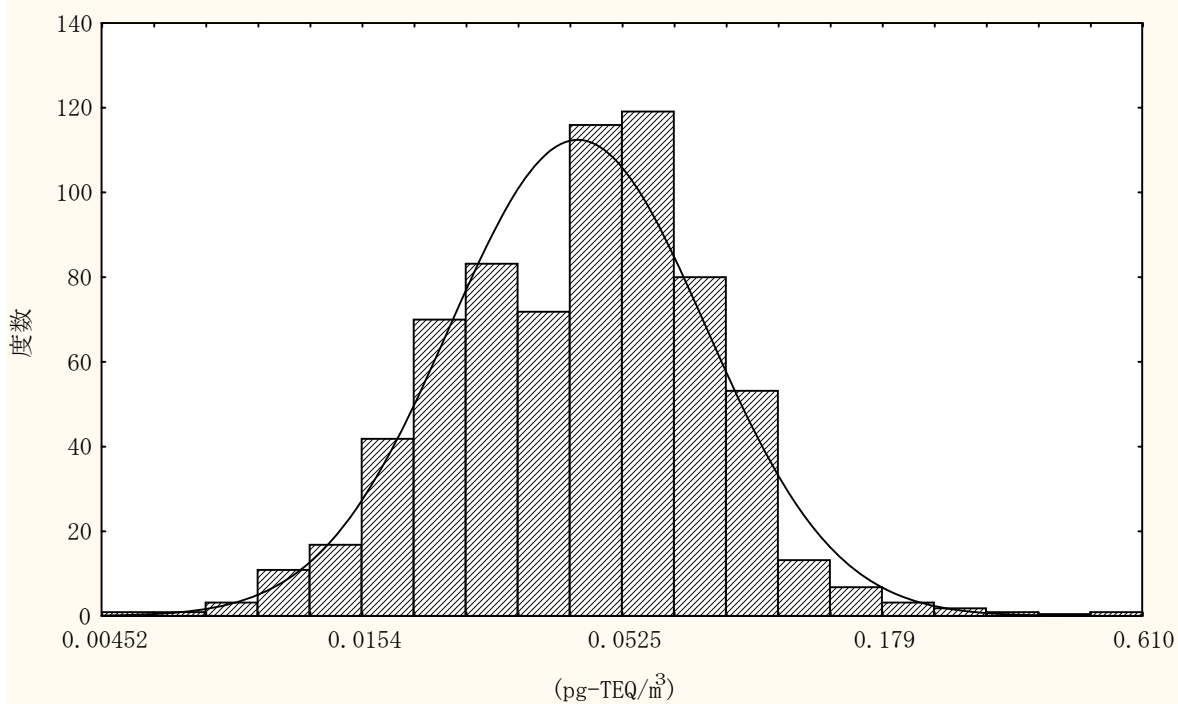


図4 大気中ダイオキシン類濃度頻度分布への対数正規分布のあてはめ

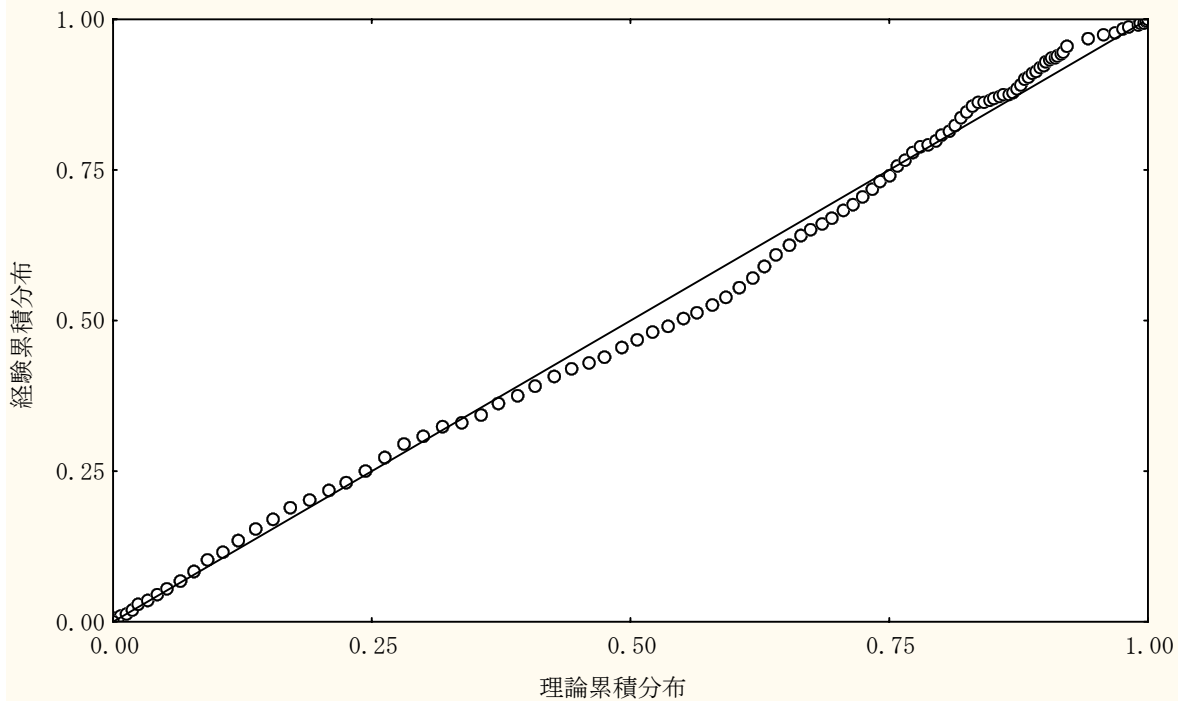


図5 大気中ダイオキシン類濃度仮定分布の P-P プロット

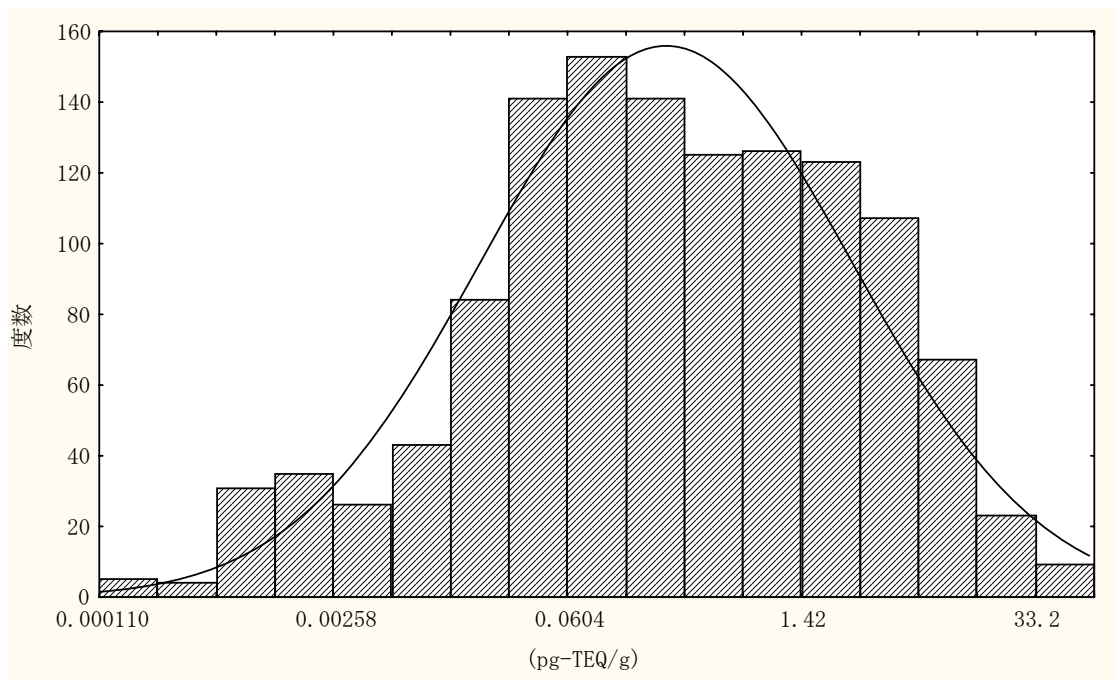


図6 土壤中ダイオキシン類濃度頻度分布への対数正規分布のあてはめ

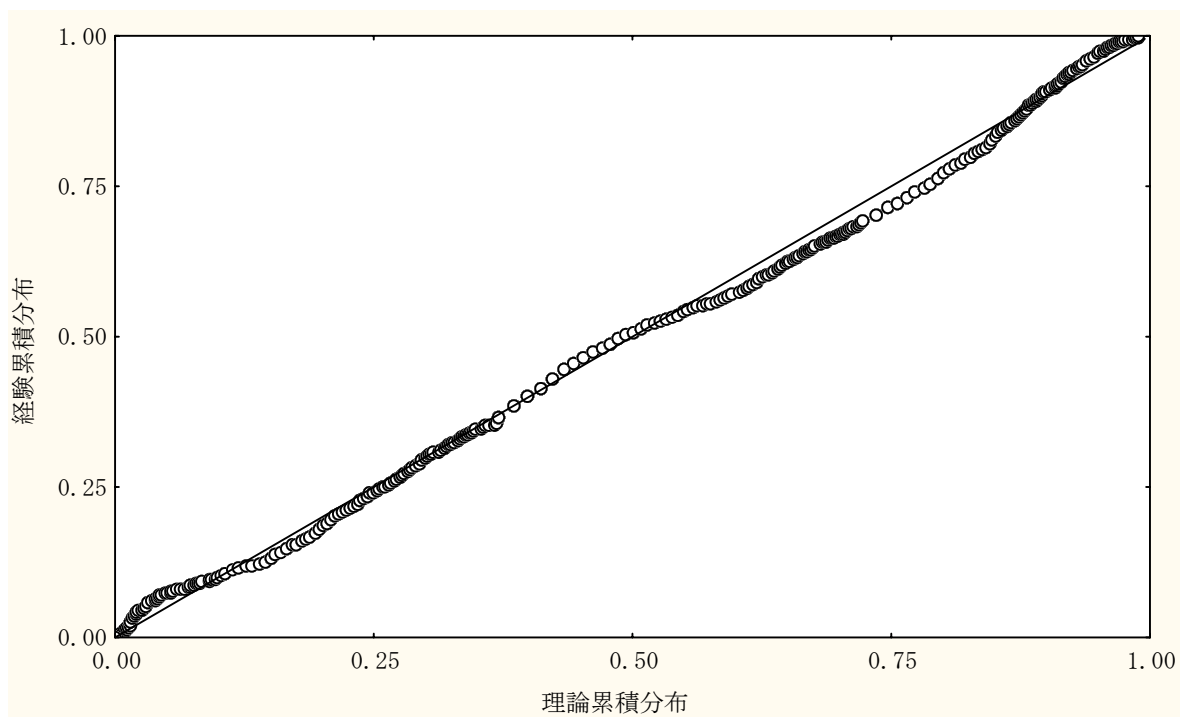


図7 土壤中ダイオキシン類濃度假定分布のP-Pプロット

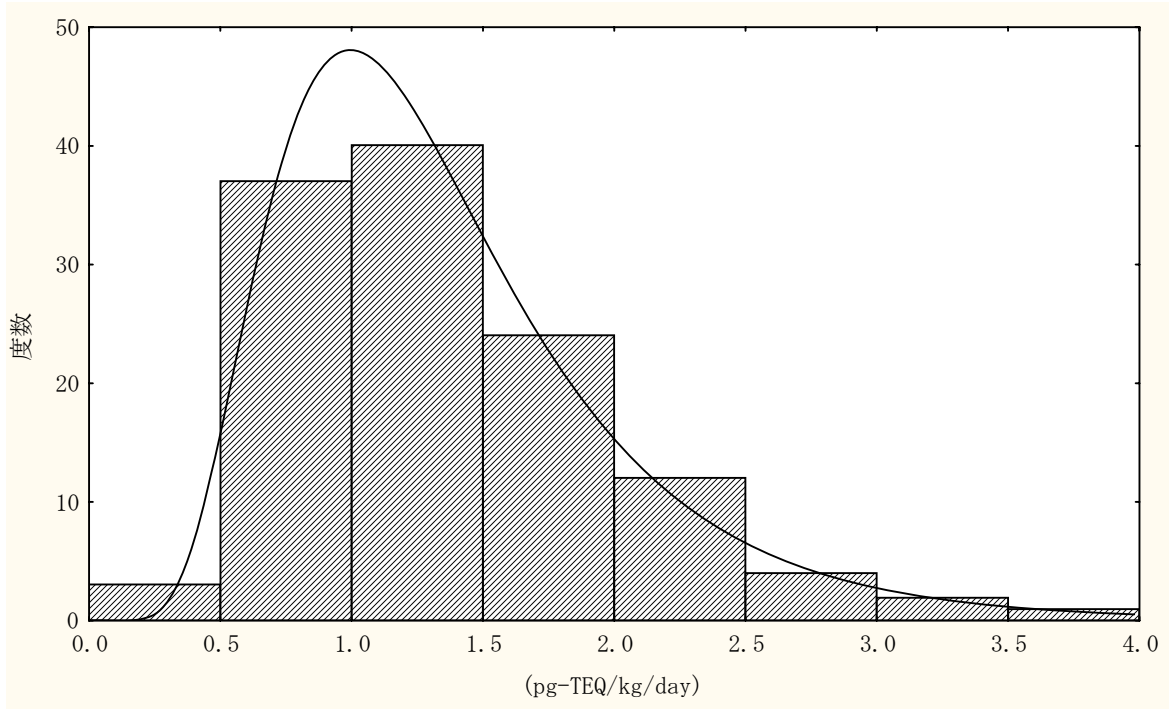


図8 トータルダイエツスタディ頻度分布への対数正規分布のあてはめ

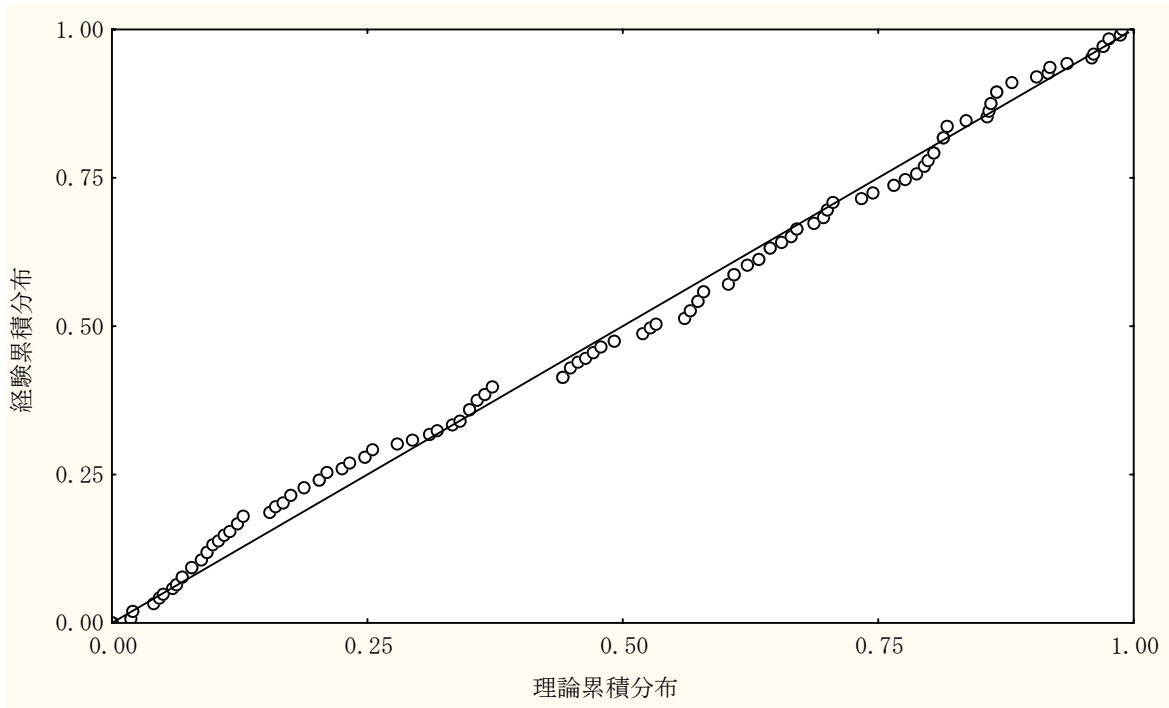


図9 トータルダイエツスタディ仮定分布のP-Pプロット

シミュレーションの結果

シミュレーション（試行回数 5000 回）の結果を表 10、表 11 及び図 10 に示した。また、各入力変数の個人総ばく露量への寄与率（順位相関による感度グラフ）を図 11 に示した。

表 10 モンテカルロシミュレーションによる
個人総ばく露量の推計結果（統計量）

（単位表示の無いもの：pg-TEQ/kg/day）

4pg-TEQ/kg/日超過率	0(%)
試行回数	5000(回)
平均値	1.36
中央値	1.25
標準偏差	0.60
分散	$0.36((\text{pg-TEQ/kg/day})^2)$
歪度	0.96(単位なし)
尖度	3.77(単位なし)
変動係数	44(%)
範囲下限	0.26
範囲上限	3.61
範囲	3.35
平均標準誤差	0.01

表 11 モンテカルロシミュレーションによる
個人総ばく露量の推計結果（パーセント値）

(pg-TEQ/kg/day)

2.5 パーセント値	0.51
5.0 パーセント値	0.59
50 パーセント値	1.25
95 パーセント値	2.57
97.5 パーセント値	2.88

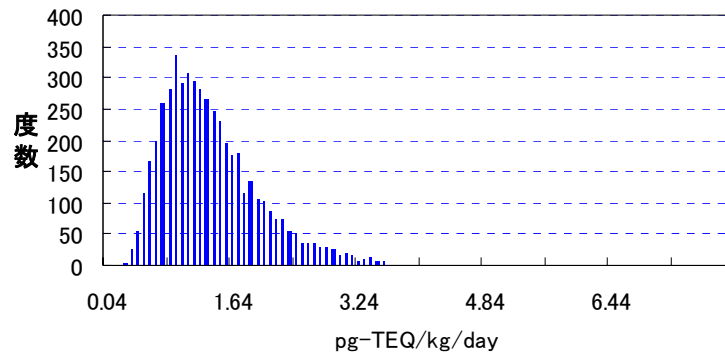


図 10 個人総ばく露量の度数分布

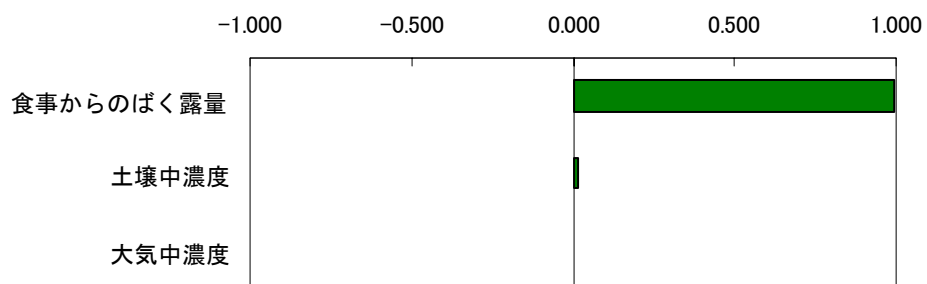


図 11 ダイオキシン類総ばく露量への各インプット変数の寄与率
(順位相関による感度グラフ)

(5) 結論

平成 17 年度に実施されたダイオキシン類に係る調査結果を用いて、ダイオキシン類によるばく露の主な経路を[1]食事、[2]大気、[3]土壌に区分し、各媒体の算術平均値を用いて各経路別の平均的なばく露量を推計したところ、[1]食事経由は 1.20 pg-TEQ/kg/day、[2]大気経由は 0.015 pg-TEQ/kg/day、[3]土壌経由は 0.0041 pg-TEQ/kg/day であり、個人総ばく露量は 1.22 pg-TEQ/kg/day となった。個人総ばく露量の推計結果の推移は、若干の減少傾向にあることが示唆された。

また、平成 17 年度に実施されたダイオキシン類に係る調査結果（大気及び土壌は平成 17 年度分だけ、食事は平成 14～17 年度の 4 年度分を含む。）を用いて、モンテカルロシミュレーションによりダイオキシン類の個人総ばく露量を推計した結果、食事からの寄与が大きく、平均値 1.36 pg-TEQ/kg/day（範囲 0.26～3.61 pg-TEQ/kg/day）が得られた。また、ダイオキシン類の耐容一日摂取量（TDI）4 pg-TEQ/kg/day を超過した割合は 0%であることが分かった。