

22. 農薬 DDT への曝露量の日本-インド比較

Comparative Evaluation of Dietary Exposure to DDT in Japan and India

森澤眞輔*、菱川絢子**、深見学史***、中山亜紀*、米田 稔*

Shinsuke MORISAWA, Jyunko HISHIKAWA, Gakushi HUKAMI, Aki NAKAYAMA and Minoru YONEDA

ABSTRACT; In Japan the insecticide DDT had been used since 1946. In 1971, its use for agriculture and household pest control was banned because of the increased health effect and environmental contamination, and was fully banned in 1981 in production, sales and usage for every purpose. The actual use was stopped substantially in early 70's, however DDT and its metabolite DDE have been detected in environmental media, foods and human tissues and organs as well through the environmental monitoring and epidemiological survey. In this study, the Fugacity model is developed to evaluate the dynamic performances of DDT and DDE in both Japanese and Indian environment, where the agricultural use was banned in 1994, and the dietary exposure to DDT is evaluated for the reference Japanese and Indians for the past half century to compare the dynamic characteristics in the environment and dietary exposures.

Key words: Health risk evaluation, Mathematical model, DDT/DDE, Japan, India

1. はじめに

わが国では、殺虫剤DDT(1,1'-(2,2,2-trichloroethylidene)-bis[4-chlorobenzene])の使用は1946年に開始された。使用量が増加するにつれて人体への健康影響や環境汚染が問題とされ、まず1971年に農薬や家庭用殺虫剤としての販売が禁止され、1981年に至り全ての用途での製造・販売・使用が禁止された。この間、使用禁止を先取りする形で、環境中へのDDTの意図的な放出はほぼ1970年の段階で停止している。しかし、DDTおよびその代謝生成物であるDDE(1,1'-(2,2-dichloro-ethenylidene)-bis[4-chlorobenzene])は現在においても環境中や食品中、人体臓器・組織中に微量ながら残留し、環境モニタリング等によりその存在が確認され続けている。

インドでは、1994年に農薬としての利用は禁止されたが、家庭用殺虫剤等としての利用は継続されている。著者等は既に、DDTとその代謝生成物DDE（以下、DDT/DDEと表記）を個別に対象にするフガシティモデル¹⁾を構築し、わが国の環境に適用した。本研究では、DDTとその主要代謝生成物であるDDEに注目し、わが国において設定した関連パラメータのいくつかをインドに置き換えることにより、インドにおけるDDT/DDEの環境内動態を評価し、平均的な日本人およびインド人の曝露量を比較・評価する。

2. DDTとその代謝生成物

DDT/DDEの物理的性質を表-1に示す。DDTは環境中で徐々にDDEに変化するが、嫌気的条件下では速やかにDDD(1,1'-(2,2-dichloroethylidene)-bis[4-chlorobenzene])に変化する²⁾。DDDが人の生活環境中で検出される例は稀であることから、本研究ではDDTの代謝生成物としてDDEに注目す

表-1 DDT およびその代謝生成物質 DDE の物理化学的性質

項 目	DDT	DDE
分子量 [g/mol]	354.5	319.0
融 点 [°C]	108.5~109.0	88.0~90.0
蒸気圧 [Pa]	$2.53 \times 10^{-6} \sim 7.33 \times 10^{-4}$	$7.5 \times 10^{-5} \sim 4.36 \times 10^{-3}$
水溶解度 [g/m ³]	0.0002~0.0010	0.001~0.174
Henry 則定数 [Pa・m ³ /mol]	0.466~3.00	0.78~370
Log Kow	3.98~6.91	4.28~6.96
Log Koc	4.58~6.59	4.48~6.64

*京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 Urban & Environ. Eng., Faculty of Eng., Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto-City 6068501, Japan、 ** (株)竹中土木 Takenaka Civil Eng. & Construction Co., Ltd, *** (株)数理計画 Suuri-Keikaku Co., Ltd

ることにした。

DDT は発癌イニシエーターである³⁾といわれており、DDT の最終発癌物質は DDE であるという報告⁴⁾もある。マウスやラットなどの実験動物で発癌率が上昇したという報告が多数あり、DDE、DDD についても発癌性が示唆されている。IARC および USEPA による発癌リスク評価では DDT および DDE は、それぞれグループ 2B、グループ B2 に分類されている。USEPA の Integrated Risk Information System (IRIS) は、DDT による発癌の Slope Factor として $0.34[\text{mg/kg}\cdot\text{day}]^{-1}$ 、非発癌性健康影響の Reference Dose (R_fD) として $0.5[\mu\text{g/kg}\cdot\text{day}]$ を与えている。また、DDT や DDE はヒトに対する内分泌攪乱作用が疑われている物質でもある。

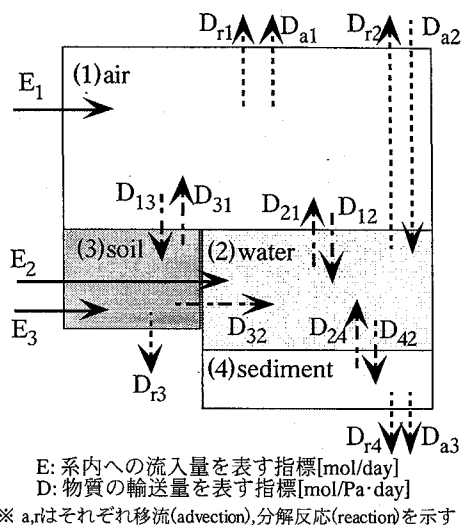


図-1 本研究で用いる4コンパートメントフガシティモデルの構成

3. DDT/DDEの環境内動態を評価するモデル

3.1 基本モデル

Mackay 等⁵⁾の提唱するフガシティモデル(レベルIV、速度論モデル)を用いて、自然環境中での DDT/DDE 濃度を評価するモデルを構築した。このモデルの特徴は、特に各コンパートメント間の化学物質の動きを表す指標として Fugacity という変数を導入したことである。コンパートメントにおける化学物質の濃度(C)は Fugacity (f)と Z-Value (Z)によって、 $C=f\cdot Z$ と表すことができる。Z-Value は、環境を構成する各コンパートメントおよびコンパートメントの構成要素(ここでは「相」と呼ぶ)毎に設定され、各コンパートメントおよび相の特性を表す定数である。本研究で使用する4コンパートメント・フガシティモデルの概略を図-1に示す。

任意の時刻における各コンパートメント($i=1$ は大気圏、 $i=2$ は水圏、 $i=3$ は土壌圏、また $i=4$ は底質圏)中 DDT/DDE の物質収支式を立てることにより、次の連立微分方程式が得られる。 V_i 、 E_i [mol/day]はそれぞれコンパートメント i の体積、コンパートメント i への DDT/DDE の放出量である。

$$\begin{aligned} V_1 Z_{B1} \{df_1(t)/dt\} &= E_1 + f_2(t) \cdot D_{21} + f_3(t) \cdot D_{31} - f_1(t) \cdot (D_{12} + D_{13} + D_{r1}) - M_{adv1}(t) \\ V_2 Z_{B2} \{df_2(t)/dt\} &= E_2 + f_1(t) \cdot D_{12} + f_3(t) \cdot D_{32} - f_2(t) \cdot (D_{21} + D_{24} + D_{a2} + D_{r2}) \\ V_3 Z_{B3} \{df_3(t)/dt\} &= E_3 + f_1(t) \cdot D_{13} + f_2(t) \cdot D_{23} - f_3(t) \cdot (D_{31} + D_{32} + D_{a3} + D_{r3}) \\ V_4 Z_{B4} \{df_4(t)/dt\} &= E_4 + f_2(t) \cdot D_{24} - f_4(t) \cdot (D_{42} + D_{a4} + D_{r4}) \end{aligned}$$

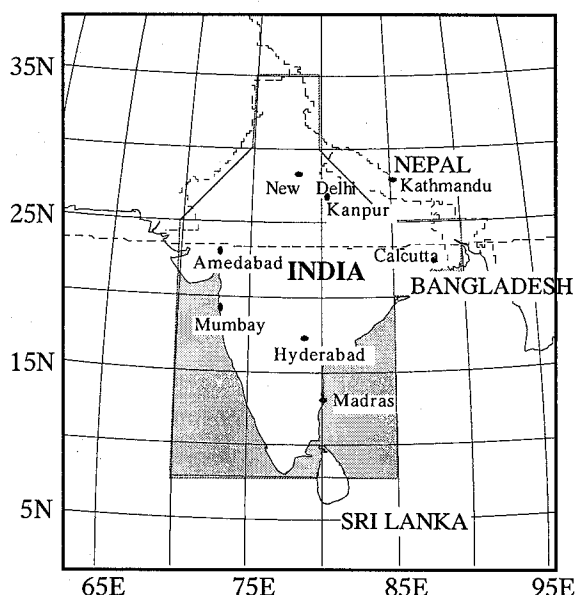
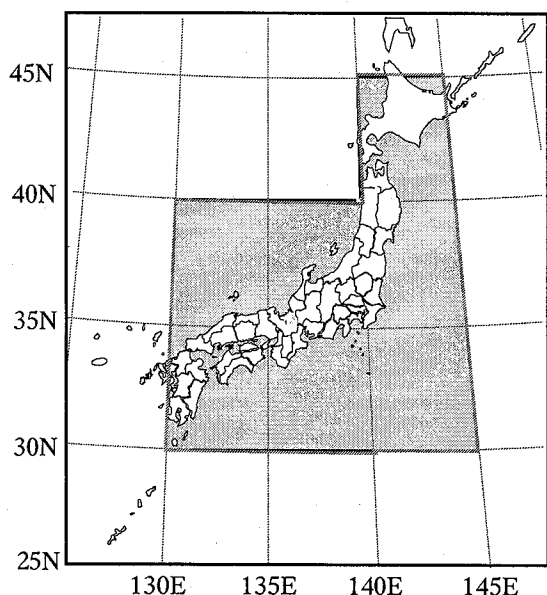


図-2 本研究で用いるFugacityモデルの設定対象領域

ここに、 D_i は DDT/DDE の輸送率を定めるために隣り合うコンパートメント間および相間で設定（後述の計算式参照）される、D-value と呼ばれる定数である。 $M_{adv1}(t)$ は、評価対象領域の大気コンパートメントから評価対象領域外への大気による DDT/DDE の正味輸送率である。

DDE の評価に際しては上式の右辺にそれぞれ、DDT の分解によって生成する DDE の付加を表現するための項 $f_i(t)D_{ii}$ を加える必要がある。また、農薬 DDT は純 DDT として使用されるため、DDE については上式の右辺第 1 項の E_i を評価する必要は無い。Z-Value の定義式等フガシティモデルの詳細については文献(1),(6)を参照されたい。なお、シミュレーションに際しては、使用された DDT は土壌圏に供給されるとみなしている。

移流・分解反応による各コンパートメントから対象領域外への DDT/DDE の消失率は、D-Value [mol/Pa·day] とフガシティ f [Pa] の積で表現される。第 i コンパートメントからの移流による対象領域外への輸送に関する D-Value (D_{ai}) および分解による消失に関する D-Value (D_{ii}) の評価式については文献(1),(6)を参照されたい。

評価対象領域内大気コンパートメントから評価対象領域外への大気移流による正味 DDT/DDE 輸送率 $M_{adv1}(t)$ を、領域外大気中の DDT/DDE 濃度 $C_{out1}(t)$ およびフガシティ $f_{out1}(t)$ を用いて次式で表現する。定義により、 $f_{out1}(t) = C_{out1}(t)/Z_{B1}$ である。

$$M_{adv1}(t) = \{f_i(t) - f_{out1}(t)\} \cdot D_{ai} = \{f_i(t) - C_{out1}(t)/Z_{B1}\} \cdot D_{ai}$$

3.2 食品への移行

食品への DDT/DDE の取り込みは、Neely のモデル⁷⁾を援用して評価する。すなわち、

$$dC_{food,m}(t)/dt = k_{1,m}C_{env}(t) - k_{2,m}C_{food,m}(t)$$

ここに、 $k_{1,m}$ 、 $k_{2,m}$ はそれぞれ環境から第 m 食品への DDT/DDE の取り込み速度係数 [1/day]、 $k_{2,m}$ は食品からのクリアランス速度係数 [1/day]、 $C_{food,m}(t)$ は第 m 食品中の DDT/DDE 濃度 [mg/kg]、 $C_{env}(t)$ は環境中の DDT/DDE 濃度 [mg/kg] である。ただし、上式において、 C_{env} は水産物中濃度を評価する場合は水圏中濃度を、農産物・畜産物中濃度を評価する場合は土壌圏中濃度を、それぞれ用いた。ここで評価される食品中濃度は、それぞれ国内産食品中の平均濃度である。

4. モデルの検証

4.1 前提条件

ここでは、日本およびインドのそれぞれに対して、図-2 に示す領域を対象に設定し、構築したモデルを用いて DDT/DDE の環境内動態をシミュレートした。一年間に国内環境中へ放出される DDT 総量（図-3 参照）は、日本では DDT 原体生産量から DDT 原体輸出力⁸⁾を差し引いたものに等しいとみなした。インドでは、Center for Science and Environment が発表する農薬生産量⁹⁾と公衆衛生目的の消費量との和を 10 倍した値を環境中への放出量とした。Gupta 等¹⁰⁾による DDT の環境放出量報告値が Center for Science and Environment の報告値の 5~10 倍であることを反映させた結果である。日本の評価対象領域外の大気中 DDT/DDE 濃度 $C_{out1}(t)$ は、北緯 20~50 度における大気中平均濃度を回帰して得られた次式を用いた。

$$\text{DDT: } C_{out1}(t) = 1.86 \text{ Exp}(-0.07t) \quad \text{DDE: } C_{out1}(t) = 0.55 \text{ Exp}(-0.088t) \quad (t: 1947 \text{ 年以降の経過年数})$$

域外大気から供給される DDT/DDE が域内環境中 DDT/DDE 濃度に及ぼす効果は、域内で DDT が使用されている期間には殆ど認められないことから、インドでは域外大気からの DDT/DDE 搬入量を無視した。

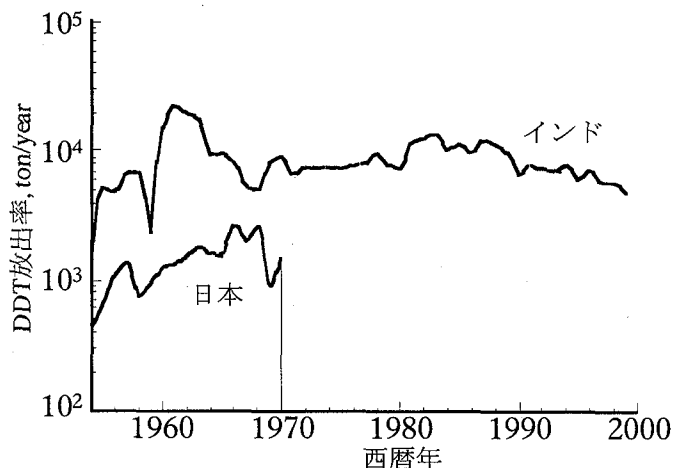


図-3 日本およびインドにおけるDDTの環境放出量

4.2 パラメータの設定

(1) 環境動態パラメータ

評価対象領域の特性及び環境パラメータを表-2 に、コンパートメント間の輸送パラメータを表-3 に整理した。これらのパラメータの内、面積、高さ、密度、有機炭素含有率は、基本的にはMackayら⁹⁾が一般的な環境を想定してレベルⅢのフガシティーモデルに適用した値を採用した。滞留時間および半減期はDDT/DDEの実測値と計算値が適合するようにフィッティングさせた値である。表-3 に示す輸送パラメータの内、日本を対象に独自に設定したパラメータ値は以下の通りである。降

水割合(U_3)については、日本の年平均降水量(1.7[m/yr]とした)に相当する値を用い、温度条件は日本の年平均気温を15℃とした。DDTの代謝生成物であるDDEについては、環境モニタリングデータによる底質中DDE濃度の経年変化から、底質からの再浮遊は極めて小さいと判断し、その寄与は無視した。またシミュレーションに際しては、使用されたDDTは先ず土壌圏に付加されるとした。インドにおける輸送パラメータは、平均気温(ニューデリーの25℃を採用)や降水量に対応するパラメータを除き、原則として日本と同じ値を用いた。

(2) 食品への移行

パラメータおよび食品の摂取量

日本における農産物及び畜産物については、DDTの環境中動態を評価した既報のパラメータ値⁹⁾を採用した。水産物については、環境中モニタリングデータ及び水産物モニタ

表-2 対象領域の大きさ、コンパートメント及びコンパートメントの相構成

1.1 対象領域（日本・コンパートメント）の環境条件設定

コンパートメント パラメータ	大気圏	水 圏	土壌圏	底質圏	浮遊粒子	
面積 A [km ²]	1.70x10 ¹²	1.36x10 ¹¹	3.40x10 ¹¹	1.36x10 ¹²	-	
高さ h [m]	1.0x10 ³	2.0x10 ¹	1.0x10 ⁻¹	1.0x10 ⁻²	-	
密度 ρ [kg/m ³]	1.2	1.0x10 ³	2.4x10 ³	2.4x10 ³	1.5x10 ³	
有機炭素含有率 φ [-]	-	-	2.0x10 ⁻²	4.0x10 ⁻²	2.0x10 ⁻¹	
滞留時間 τ [hr]	DDT	1.7x10 ³	1.7x10 ⁴	-	8.5x10 ⁵	-
	DDE					
半減期 T _{1/2} [hr]	DDT	1.7x10 ²	5.5x10 ⁴	1.7x10 ⁴	5.5x10 ⁴	-
	DDE			5.5x10 ⁴		

1.2 対象領域（インド・コンパートメント）の環境条件設定

面積 A [km ²]	4.17x10 ¹²	8.34x10 ¹¹	3.34x10 ¹²	8.34x10 ¹¹	-	
高さ h [m]	1.0x10 ³	2.0x10 ¹	1.0x10 ⁻¹	1.0x10 ⁻²	-	
密度 ρ [kg/m ³]	1.2	1.0x10 ³	2.4x10 ³	2.4x10 ³	1.5x10 ³	
有機炭素含有率 φ [-]	-	-	2.0x10 ⁻²	4.0x10 ⁻²	2.0x10 ⁻¹	
滞留時間 τ [hr]	DDT	1.0x10 ²	1.0x10 ⁴	-	5.0x10 ⁴	-
	DDE		1.0x10 ³			
半 減 期 T _{1/2} [hr]	DDT	1.7x10 ²	5.5x10 ⁴	1.7x10 ⁴	5.5x10 ⁴	-
	DDE			5.5x10 ⁴		

2. 各コンパートメントを構成する各相の体積存在比率 [-]

空 気 相	1.0	-	0.2	-	-
水 相	-	1.0	0.3	0.8	-
土 壌 相	-	-	0.5	-	-
底 質 相	-	-	-	0.2	-
浮遊物質相	-	5.0x10 ⁻⁶	-	-	-
エアロゾル相	2.0x10 ⁻¹¹	-	-	-	-

表-3 DDT/DDE 輸送パラメータの設定値

記号	パラメータ (単位: m/day)	日 本		イ ン ド	
		DDT	DDE	DDT	DDE
U ₁	気相側物質移動係数	1.20x10 ²		1.20x10 ²	
U ₂	液相側物質移動係数	1.20		1.20	
U ₃	降水割合	4.66x10 ⁻³		2.19x10 ⁻³	
U ₄	エアロゾル沈着速度	1.44x10 ⁻⁸		1.44x10 ⁻⁸	
U ₅	土壌中気相の拡散による物質移動係数	4.80x10 ⁻¹		4.80x10 ⁻¹	
U ₆	土壌中液相の拡散による物質移動係数	2.40x10 ⁻⁵		2.40x10 ⁻⁵	
U ₇	土壌中気相境界面の物質移動係数	1.20x10 ²		1.20x10 ²	
U ₈	底質-水圏間の物質移動係数	1.44x10 ⁻⁸		2.40x10 ⁻³	
U ₉	底質への堆積速度	1.20x10 ⁻⁵		1.20x10 ⁻⁶	
U ₁₀	底質からの再浮遊速度	2.88x10 ⁻⁵	0.0	4.80x10 ⁻⁶	0.0
U ₁₁	土壌間隙水流出速度	5.59x10 ⁻²		1.10x10 ⁻³	
U ₁₂	土壌の流出速度	5.36x10 ⁻³		2.20x10 ⁻⁷	

リングデータを用い、フィッティングによって独自に設定した。インドにおいては、原則として日本において決定した値を採用し、一部の食品についてはフィッティングにより値を変更した。表4に本研究で採用した各食品への取込およびクリアランス速度係数を示す。調理による残留率^{11),12)}は DDT と DDE、日本とインドで同じ値を用いた。平均的な日本人成人による食品の摂取量は厚生省による国民栄養調査の結果を、インド人成人については表5に掲げる数値を用いた。

4.3 モデルの検証

環境中 DDT/DDE 濃度のシミュレーション結果の一例を DDT について図-4 に、食品中濃度のシミュレーション結果の一例を DDE について図-5 に、それぞれ実測値

^{11)-16),17-21)}と共に示す。数値シミュレーション結果の代表値、最大値及び最小値は、DDT/DDE の物理的性質の変動(表-1 参照)を考慮した場合の平均値、最大値及び最小値である。環境構成要素中濃度(図-4 参照)は、日本ではいずれも DDT が実質的使用禁止になる(1971 年)まで増加した後指数関数的に減少しており、実測値と計算値は良好に一致している。土壌中 DDT 濃度(図-4(C)参照)の減少速度は大きく、底質中 DDT 濃度(図-4(D)参照)の減少速度はやや小さい。底質は、DDT が最終的に蓄積する環境であるため、減少速度が小さくなると考えられる。大気中濃度(図-4(A)参照)は、実測値、計算値ともに変動幅が大きい。DDE の水中濃度(図-4(B)参照)は全体的に変動幅が大きく、一方 DDT の水中濃度は年を経るにつれて変動幅が大きくなっている。土壌中濃度は最小値と最大値の幅が小さい。

インドでは、1994 年に農薬としての DDT の利用が禁止されたが、環境への移行量の減少が認められない(図-3 参照)ことを反映して、環境構成要素中の DDT 濃度はほぼ一定値を維持している。計算値は実測値と良好に一致していると言える。

食品中濃度(図-5 参照)の実測値とシミュレーション結果とは良好に一致しており、環境構成要素中濃度において示された最小値と最大値との差は、貝類中濃度以外は極めて小さい。食品中 DDE 濃度の経年変化パターンは

表4 各食品の DDT/DDE 取込およびクリアランス速度係数

パラメータ 食 品		取込/クリアランス速度係数				調 理 残留率
		日 本		イ ン ド		
		k _{1,m} [1/day]	k _{2,m} [1/day]	k _{1,m} [1/day]	k _{2,m} [1/day]	
農 産 物	米 類	3.3×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁴	-	-	0.03 ^{a)}
	麦 類	3.3×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁴	3.3×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻⁴	0.03 ^{a)}
	いも類	4.4×10 ⁻⁵	6.0×10 ⁻⁴	-	-	0.35 ^{a)}
	豆 類	1.9×10 ⁻⁵	7.3×10 ⁻⁴	1.9×10 ⁻⁵	7.3×10 ⁻⁴	0.35 ^{a)}
	果実類	6.5×10 ⁻⁶	2.3×10 ⁻⁴	6.5×10 ⁻⁶	2.3×10 ⁻⁴	0.35 ^{a)}
	葉菜類	5.3×10 ⁻⁵	4.6×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁵	6.5×10 ⁻⁴	0.35 ^{a)}
	根菜類	1.5×10 ⁻⁵	4.3×10 ⁻⁴	1.5×10 ⁻⁵	4.3×10 ⁻⁴	0.35 ^{a)}
	果菜類	1.9×10 ⁻⁵	7.3×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁵	6.5×10 ⁻⁴	0.35 ^{a)}
畜 産 物	牛 肉	2.7×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³	-	-	1.00 ^{b)}
	豚 肉	2.7×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³	-	-	0.93
	鶏 肉	9.4×10 ⁻⁴	7.1×10 ⁻⁴	-	-	0.86
	羊 肉	2.7×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³	-	-	1.00 ^{b)}
	鶏 卵	2.9×10 ⁻⁵	2.6×10 ⁻⁴	-	-	1.00 ^{b)}
	牛 乳	2.9×10 ⁻⁵	4.0×10 ⁻⁴	-	-	1.00 ^{b)}
	乳製品	4.0×10 ⁻³	9.4×10 ⁻⁴	-	-	1.00 ^{b)}
	牛乳・乳製品			2.0×10 ⁻²	9.9×10 ⁻⁵	1.00 ^{b)}
	チーズ	-	-	4.0×10 ⁻²	9.4×10 ⁻⁴	1.00 ^{b)}
	肉類・卵	-	-	1.3×10 ⁻³	8.0×10 ⁻⁴	1.00 ^{b)}
水 産 物	魚 類	2.5×10 ⁻²	4.2×10 ⁻⁴	-	-	0.37
	貝 類	8.5×10 ⁻⁴	3.1×10 ⁻⁴	-	-	1.00 ^{b)}
	海藻類	5.3×10 ⁻⁵	4.6×10 ⁻⁴	-	-	1.00 ^{b)}

a)調理前後の DDTs(=DDT+DDE)濃度実測値から算定(米田他,1979;厚生省,1982)、b)安全側の仮定。

表5 標準的なインド人成人による食品摂取量

食品の種類	平均摂取量 [g/day]	
	非ベジタリアン	ベジタリアン
穀類	440	
豆類(Pulses and legnums)	90	
根菜類	640	
非根菜類	184	
果物類	67	
油脂類 ^{a)}	71	
ミルクおよび乳製品	491	
砂糖および砂糖製品 ^{a)}	179	
水および清涼飲料水	2,325	
豆類(Peas)	-	58
チーズ	-	47
肉類および卵	93	-
計	4,580	4,591

a) DDT/DDE 濃度を評価するための情報が不足しているため、曝露量評価の対象から除外している。

環境中濃度の経年変化パターンと類似しており、食品中 DDE 濃度がほぼ環境中濃度の変化に追随していることがわかる。また図示は省略しているが、食品中では DDT と DDE の濃度レベルはほぼ同じであり¹⁾、環境構成要素中に比較して食品中では DDE 濃度の割合が大きい⁹⁾と言える。海産物中濃度の大きな変動幅は、水中濃度の大きな変動を反映している。

4.4 経口摂取量の評価

標準的な日本人およびインド人成人（ベジタリアンおよび非ベジタリアン）の食品摂取量と各食品中の DDT および DDE の積和により、各年代の DDT および DDE 経口摂取量を算定し、その結果を図-6 に示す。同図には、それぞれの経口摂

取量の日本およびインドにおける実測値^{11),12),14-16),22)}を併せて示した。平均的なインド人による経口摂取量データは DDTs (=DDT+DDE)値が与えられているため、計算値も DDTs 値を示している。

経口摂取量の実測値は特定の期間に限られているが、同図は経口摂取量の計算値と実測値とが良好に一致することを示している。わが国は多くの食糧・飼料を外国に依存している。家畜および日本人が摂取する飼料および食品中濃度は、輸入食糧・飼料^{9),23)}と国産食糧・飼料とが市場において均質に混合すると見なして算定した。輸入食糧・試料中の DDT および DDE 濃度は、それらの実測値を用いた。

平均的な日本人による DDT/DDE の経口摂取量は全面的な使用禁止措置が講じられた 1971 年以降に減少を開始しているが、インドではなお一定の水準が維持されている可能性が大きい。

DDE の経口摂取量は DDT の経口摂取量を明らかに上回っている。図示は省略したが、環境構成要素中では、底質中を除き、DDT 濃度が DDE 濃度をほぼ上回っている。同じく、農作物中では DDT 濃度が DDE 濃度を上回っているものの、食物連鎖が進むにつれて、畜産物や海産物中では DDE 濃度が DDT 濃度を上回っている^{11),9)}。また同じ食品中であっても、DDE の存在分率は経年的に増加することが知られている⁹⁾。DDE 経口摂取量の増

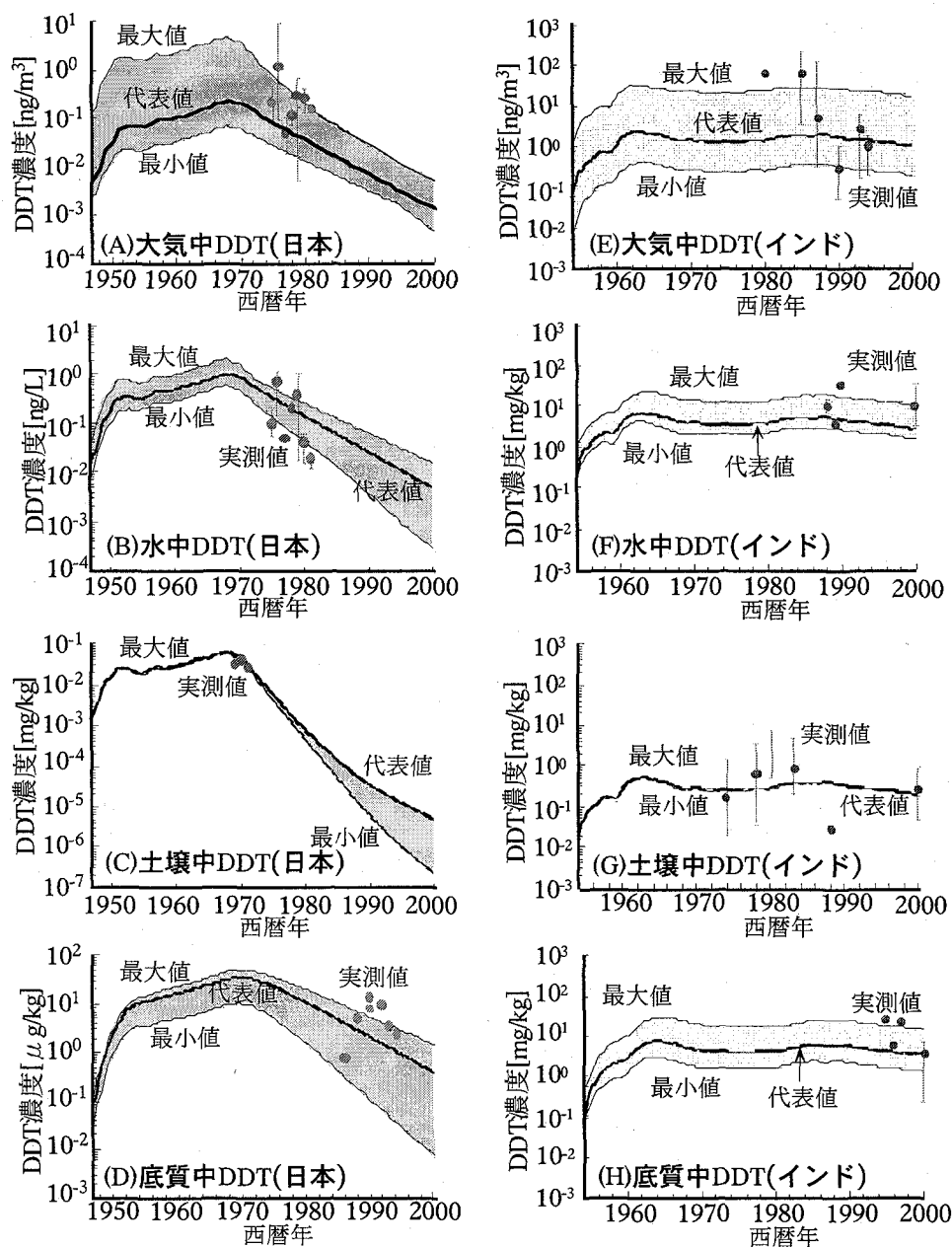


図-4 日本およびインドの環境媒体中DDT濃度の計算値と実測値の比較

加は、DDT の代謝により環境中で生成する DDE の効果を反映している。

5 おわりに

わが国で使用された殺虫剤 DDT が環境中でどのような動態を示し、国産食品中に移行するかを評価するためのモデルを構築し、環境モニタリングデータに照らしてその妥当性を検討した。開発した評価モデルでは、原体である DDT とその代謝生成物質である DDE とを区別して評価することができる。構築したモデルによるシミュレーション結果と環境モニタリングデータとは良好に一致しており、構築したモデルは DDT/DDE の日本およびインドにおける環境内動態を良好に再現できた。

本研究で構築したフガシティモデルはその評価対象領域の設定に任意性があり、その影響は設定

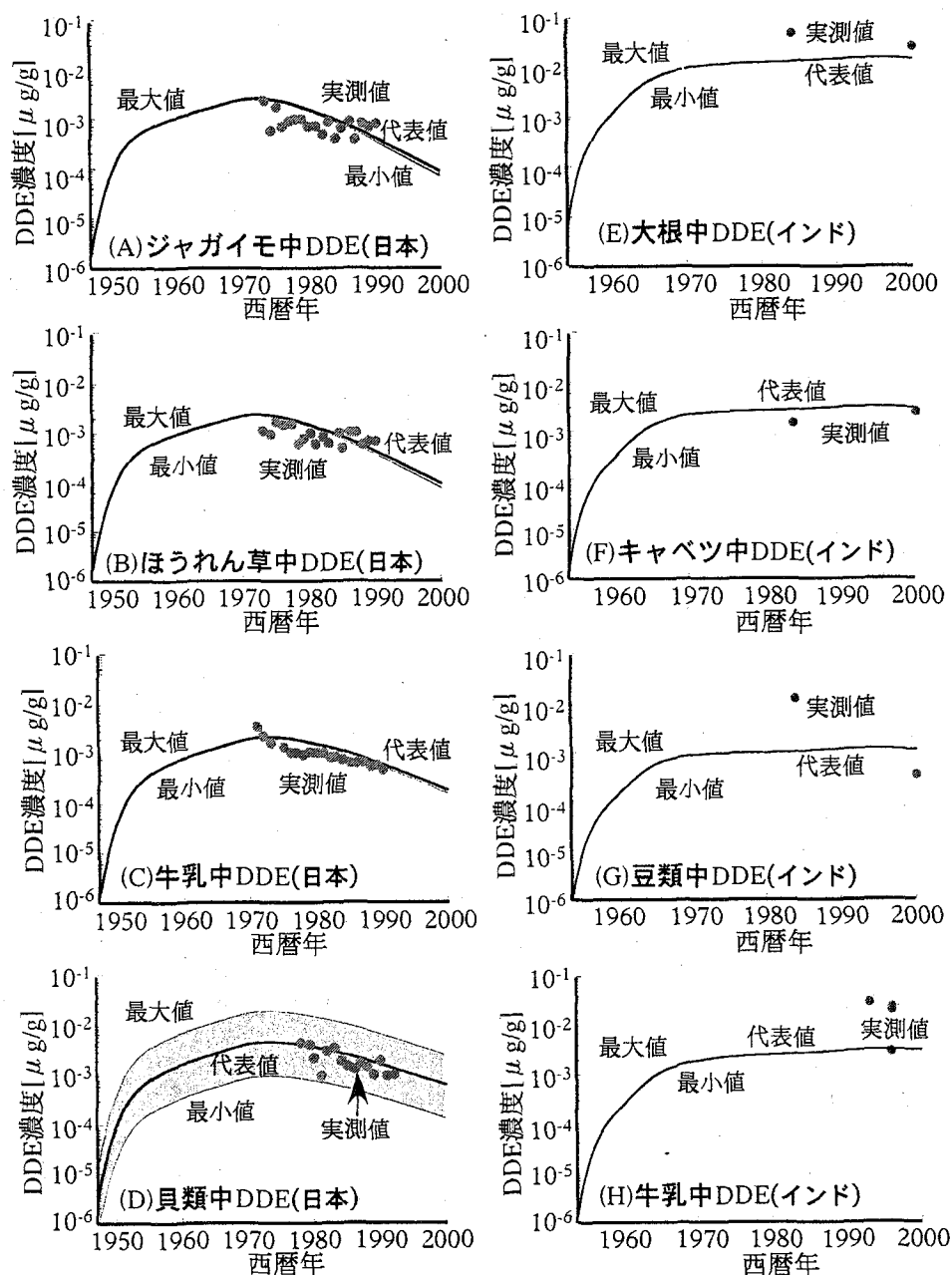


図-5 日本およびインドの食品中DDE濃度の計算値と実測値の比較

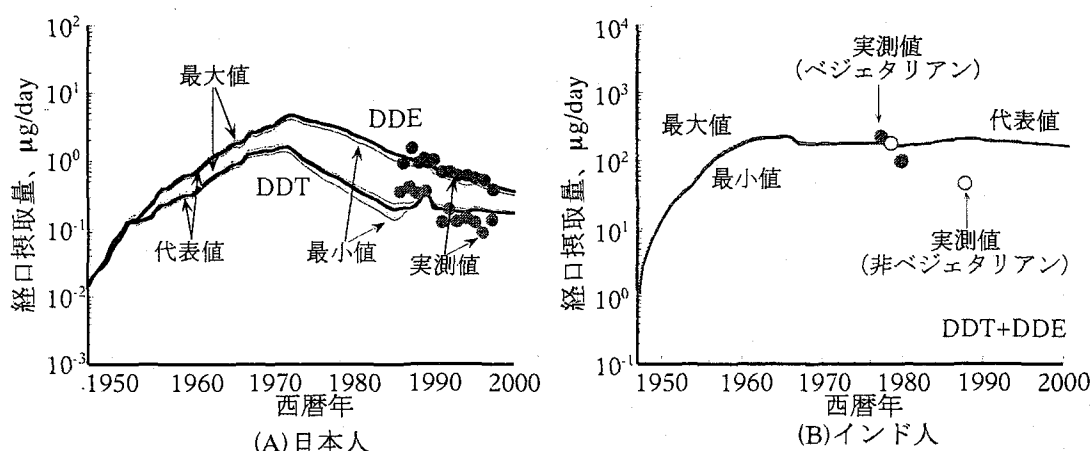


図-6 標準的な日本人およびインド人成人に対するDDTおよびDDEの経口摂取量

した移行パラメータ等に波及している。すなわち例えば、コンパートメント間や環境構成要素（相）間の DDT および DDE の輸送速度係数等は設定された領域においてのみ使用可能である。他の領域に適用する場合には、本研究で用いた手順を踏襲し、当該領域において関連パラメータの値を再設定する必要がある。

本研究には、科学研究費補助金基盤研究(B)(2)(No.13555150)により実施した成果が含まれています。本研究の数値計算には京都大学大型計算機センターの計算機を利用しました。記して関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 菱川 絢子、森澤 眞輔：DDT/DDE の環境内動態評価モデルの構築、環境衛生工学研究、
- 2) 山本 出、深見 順一：農薬—デザインと開発指針—（ソフトサイエンス社、1979）
- 3) 金澤 淳：農薬の環境科学、（合同出版、1994）
- 4) 若月 俊一、松島 松翠、安藤 満：農薬の毒性と健康影響、（公害研究対策センター、1989）
- 5) D.Mackay *et al.* : Illustrated handbook of physical-chemical properties and environment fate for organic chemicals 5, CRC Press LLC, (1997)
- 6) S.Morisawa, A.Kato, M.Yoneda & Y.Shimada : The Dynamic Performances of DDTs in the Environment and Their Exposure to Japanese: A Historical Perspective after the Ban, *Journal of Risk Analysis*, Vol.22, No.2, pp.245-263, (2002)
- 7) W.B. Neely : Estimating rate constants for the uptake and clearance of chemicals by fish, *Journal of the Oceano. Soc. Japan*, 36, 217-226 (1979)
- 8) 大蔵省：日本外国貿易年表、昭和 19～35 年度版(1946～1960)、昭和 40-50 年度版、(1970-1975)
- 9) Agawal, A. & Narain, S.: The Citizen's Fifth Report, Part II, Statistical Database, Center for Science and Environment, (1999)
- 10) S.R. Gupta & S.Z. Qasim: The Indian Ocean - An Environmental Overview in *Ocean Realities and Prospects*, Rajesh Pub., New Delhi, pp.7-40, (1985)
- 11) 米田 孟弘、他：日常食品中の汚染物質調査、島根県衛生公害研究年報、(1979-1995)
- 12) 厚生省汚染物質研究班：食品汚染物モニタリングデータ (1971-1980)、(1982)
- 13) 環境庁環境保健部保健調査室：化学物質と環境、昭和 60～平成 7 年版、財団法人日本環境協会、(1985-1995)
- 14) 国立衛生試験所食品部汚染物質研究班：Food Contamination Monitoring Report, (1983-1997)
- 15) 犬山 義晴、他：食品中の環境汚染物質調査について、島根県衛生公害研究年報、(1979-1980)
- 16) 豊田 正武、他：食品中における農薬の実態調査と一日摂取量について、食品衛生研究、第 47 巻 3 号、pp.67-77、(1997)
- 17) Sanghi, R. & Tewari, V.: Monitoring of Pesticide Residues in Summer Fruits and Vegetables From Kanpur, India, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol.67, pp.587-593, (2001)
- 18) Lal, R., Dhanaraj, P.S. & Rao, V.V.S.N.: Residues of Organochlorine Insecticides in Delhi Vegetables, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol.42, pp.45-49, (1989)
- 19) Hans, R.K., Farooq, M., Babu, G.S., Srivastava S.P., *et al.*: Agricultural Produce in the Dry Bed of the River Ganga in Kanpur, India—A New Source of Pesticide Contamination in Human Diets, *Food and Chemical Toxicology*, Vol.37, pp.847-852, (1999)
- 20) Pandit, G.G. & Sahu, S.K.: Assessment of risk to public health posed by persistent organochlorine pesticide residues in milk and milk products in Mumbai, India, *Journal of Environmental Monitoring*, Vol.4, pp.182-185, (2002)
- 21) Kannan, K., Tanabe, S., Giesy, J.P. *et al.*: Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Foodstuffs from Asian and Oceanic Countries, *Reviews of environmental contamination and toxicology*, Vol.152, pp.1-55, (1997)
- 22) Singh, P.P. *et al.*: Insecticide Residue in Total Diet Samples in Punjab, India, *The Science of the Total Environment*, Vol.76, pp.139-146, (1988)
- 23) 日本貿易振興会：農林水産物の貿易、1971-91 年版、(1971-1991)