

マルチメディアモデルを用いた中国遼寧省でのダイオキシンの挙動予測 Estimate the behavior of dioxin by Multimedia Model in Liaoning Province, China

○李 延楠 (大阪大学) 近 藤 明 (大阪大学) 井 上 義 雄 (大阪大学)
Li Yannan*¹ Akira KONDO*¹ Yoshio INOUE*¹
*¹ Osaka University

Recently in China, industrialization and urbanization is developing rapidly with the development of the economics. The usage of the energy is greatly increased, and it causes a variety of environment pollution by toxic chemicals, such as dioxin. Once these toxic chemicals are discharged in environment, they may circulate and accumulate over many medias, such as the atmosphere, soil, and water. In this study, using Multimedia model, we calculated dioxins concentration at the Liaoning Province in China, and compared calculated values with measured values. The difference between the calculated and measured values may be attributed to the underestimation of dioxin source.

1. はじめに

近年、中国の経済の迅速に発展に伴って、工業化と都市化が急速に進展している。それに伴い、原材料とエネルギー使用量が増大し、ダイオキシンに代表される有毒化学物質による様々な環境汚染問題が引き起こされている。都市から排出される固体廃棄物の燃焼、自動車の排気ガス、および中小企業の生産過程からは、少量ながらダイオキシン類が発生している。また、かつて農業にはダイオキシン類が含有されており、土壌等の環境メディアに蓄積されている。

ダイオキシンは「残留性有機汚染物質」の1つである。「残留性有機汚染物質」の中には、難分解性、生物蓄積性、長距離移動性などの性質を持ち、一度環境中に排出されると、大気、水、土壌などといった様々なメディア間で循環、蓄積するものもある。このような物質は一般に POPs(Persistent organic pollutants)と呼ばれる。POPs には、非常に少量で健康に作用したり、体内に蓄積するものがあったり、他の物質のように急性毒性ではなく、子供が大人になってから健康被害が発見するといった、影響がわかりにくく因果関係の解明が困難であるものがある。そのため、排出量を抑制し、たとえ排出がなくなったとしても、過去に排出されたものが環境中や生物の体内で高濃度に濃縮されることで、後に生態系や人間の健康に影響がでてくる可能性もある。

POPs のような残留性の強い有害化学物質は、環境中に排出されると、大気、水域、土壌など様々なメディア

を長い時間かけて循環し、蓄積していく。このような化学物質の環境中の挙動を求めることは、生態系や人間の健康を守るために必要である。本研究では、マルチメディアモデルを用いて中国遼寧省のダイオキシンの環境挙動を表現する挙動予測モデルを開発し、中国遼寧省の過去からダイオキシン排出量を推定して、過去から将来にわたるダイオキシンのメディア間の循環量、汚染濃度を推定した。そこで得られた値と実測値の比較を行った。

2. 対象物質と計算期間・地域

計算対象物質は、ダイオキシン類 (PCDDs, PCDFs) で、等価毒性係数を用いて、2,3,7,8-TCDD 濃度で評価する。計算期間は、1960年から2008年までとする。計算対象地域は、Fig.1 に示す中国遼寧省である。中国遼寧省の面積、水域面積、および仮定した水深と土壌深さを Table 1 に示す。

3. ダイオキシン類の排出量算定法

ダイオキシン類の排出の算定に際して、はじめに排出源の特定を行った。国連環境計画 (UNEP) はダイオキシン類を識別し、定量化するために、「ダイオキシン類の排出と量化的標準化ツールボックス」¹⁾を開発した。それに基づいて、中国政府は2004年に中国のダイオキシン類の排出量を推定して、「2004年の中国のダイオキシン類の排出明細書」²⁾を報告した。その中の、ダイオキシン類排出目録を基に現在の主な排出源を特定した。これらの排出源からダイオキシンは大気へ排出されるとした。また過去の排出源として農業を想定した。



Fig.1 Map of study area

Table 1 Parameter of study area

parameter	value
calculation Area	302500 (km ²)
water Area	10000 (km ²)
depth of water	1 (m)
height of soil	0.05 (m)

3. 1 大気への排出量の推定方法

大気への排出源としては、以下の①から⑤の5種類を想定し、式(1)より、それぞれの排出源からの排出係数を算定した。

$$E_i = K_i Q_i \quad (1)$$

ここで、 E はダイオキシンの排出量[gTEQ/year]、 K は排出係数、 Q はダイオキシンを排出する生産量を表す。

「2004年の中国のダイオキシン類の排出明細書」により、2004年の中国で大気へのダイオキシン排出量と算定した排出係数をTable 2に表す。

① 廃棄物の焼却

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ gTEQ/t] × 廃棄物焼却量[t/year]

② 鋼鉄及び他の金属生産

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ gTEQ/t] × 生鉄、鋼、製品鋼材生産量[t/year]

③ 発電及び熱

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ gTEQ/TJ] × 発電量[TJ /year]

④ 鉱物製品の生産

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ gTEQ/t] × セメントの生産量 [t/year]

⑤ 交通

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ

gTEQ/t] × ガソリン、燃料油の消費量[t/year]

1985年から2008年までの間に、各排出係数は変動しないと仮定し、「中国統計年鑑1985年～2008年」³⁾ データから、中国全国の年間のダイオキシン排出量の推定を行った。結果をFig.2に示す。そして、中国の全人口数と遼寧省の人口数の割合で、遼寧省での大気へのダイオキシン排出量を推定した。

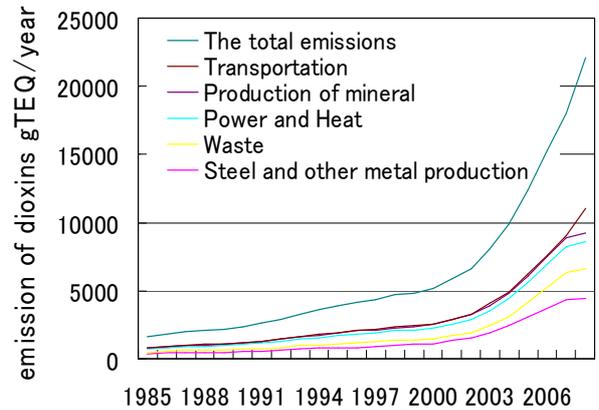


Fig.2 Emissions of dioxins in the air, China

Table 2 Preliminary inventory of dioxins releases and estimation of the emission factor in the air in 2004, China

Item	The emission of dioxin (g)	The amount of production (*10 ⁴ tons)	Emission factor (μ g TEQ/t)
Waste	610.50	449	136
Steel and other metal production	2486.20	87097.8	2.85
Power and Heat	1304.40	7931912.4 TJ	164.4 μ g TEQ/TJ
Production of mineral	413.60	96681.99	0.43
Transportation	119.70	7641.14	1.56652

3. 2 土壌への排出量の推定方法

土壌への排出源としては、以下の⑥から⑧の3種類を想定し、式(1)により、それぞれの排出源からの排出係数を算定した。

「2004年の中国のダイオキシン類の排出明細書」により、2004年の中国で土壌へのダイオキシン排出量の排出係数を下記の⑥から⑧により算定した。結果をTable 3に示す。

⑥ 廃棄物の焼却

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数 [μ gTEQ/t] × 廃棄物焼却量[t/year]

⑦ 鋼鉄及び他の金属生産

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数[μgTEQ/t] × 生鉄、鋼、製品鋼材生産量[t/year]

⑧ 発電及び熱

ダイオキシンの排出量[gTEQ/year] = 排出係数[μgTEQ/TJ] × 発電量[TJ /year]

Table 3 Preliminary inventory of dioxins releases and estimation of the emission factor in the soil in 2004, China

Item	The emission of dioxin /g	The amount of production (*10 ⁴ tons)	Emission factor (μg TEQ/t)
Waste	1147.10	449	255.48
Steel and other metal production	2167.20	87097.8	2.488
Power and Heat	588.10	7931912.4 TJ	74.144 μg TEQ/TJ

1985年から2008年までの間に、各排出係数は変動しないと仮定し、「中国統計年鑑1985年～2008年」³⁾ データから、中国全国の年間のダイオキシン排出量の推定を行った。結果をFig.3に示す。そして、中国の全人口数と遼寧省の人口数の割合で、遼寧省での土壌へのダイオキシン排出量を推定した。

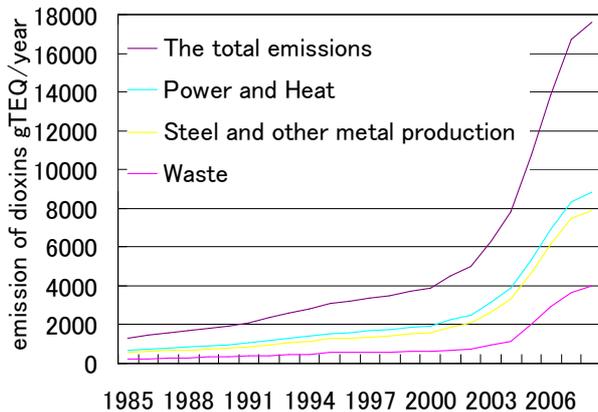


Fig.3 Emissions of dioxins in the soil, China

3. 3 水域への排出量の推定方法

水域へのダイオキシン類排出量は、大気への排出量の1/100と仮定した。

4. マルチメディアモデル

4. 1 モデルの構造

既述のように化学物質は環境中に排出された後、様々なメディア間を循環する。したがってその循環を解析する

には単一メディアではなく複数のメディアを持つモデルが必要である。One Box 型環境循環モデルは計算領域内において大気、水域、土壌など各メディア内の物質濃度は均一であると考え、循環のシミュレーションを行うモデルである。One Box は平面的な分布についての解析は不可能であるが、領域全体のダイオキシンの循環を経年的に解析することには適している。Fig.4にモデルの構造を示す。メディアは大気(Atmosphere)、水域(Water)、土壌(Soil)、底質(Sediment)があり、大気は、気相(Gas)と粒子相(Particle)から構成される。水域は、液相(Liquid)、浮遊粒子相(SS)により構成される。計6つのメディアを想定した。

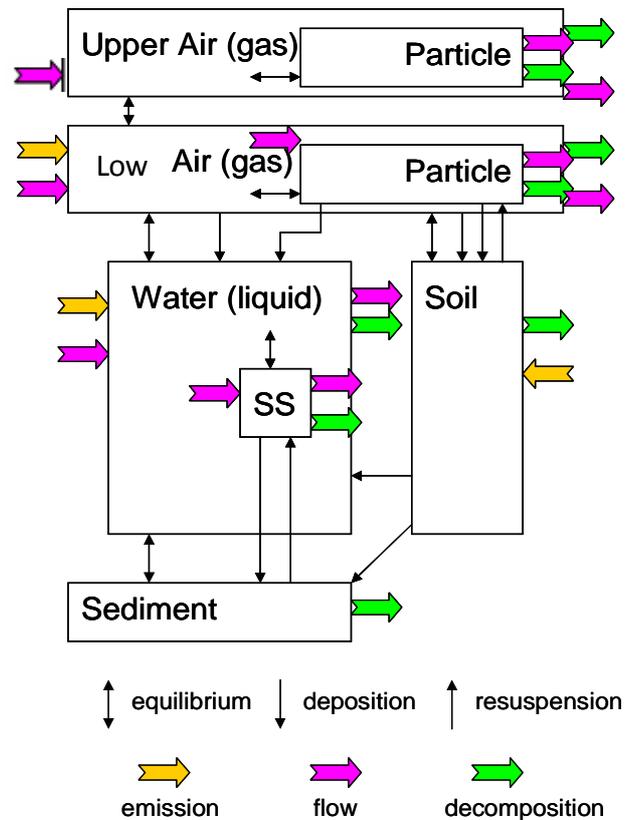


Fig.4 Structure of Multimedia Model

4. 2 モデルの基礎式

化学物質の循環量に関する基礎方程式は、式(2)に示すメディア間の平衡フラックス、ダイオキシン類の排出フラックス、移流フラックス、沈降・流出・巻上げフラックス、消滅フラックスからなっている。またフラックスのうち平衡と沈降・流出・巻上げのフラックスは隣接するメディア間での循環なので各メディア間との総和で表してある。

$$\frac{dM_i}{dt} = \sum_{j=1}^{MN} f_{eq_ij} + f_{emi_i} + f_{fl_i} + \sum_{j=1}^{MN} f_{dprs_ij} \quad (2)$$

- i, j : メディアの識別文字
- MN : メディアの総数
- M_i : メディア i 中の化学物質質量 (mol)
- f_{eq} : メディア間の平衡による物質移動フラックス (mol/s)
- f_{emi} : 化学物質の排出フラックス (mol/s)
- f_{fl} : 移流フラックス (mol/s)
- f_{dprs} : 沈降・流出フラックス (mol/s)

5. 計算結果と考察

5.1 実測値との比較

One Box 型マルチメディアモデルを用いて、中国遼寧省における各メディア中のダイオキシン類の濃度を計算し、計算値と実測値を比較した。

各メディアでのダイオキシン類濃度の経年変化を Fig. 5 に示す。大気は上層大気と下層大気を分けている。中国におけるさまざまな場所からの土壌と底質のダイオキシン類の濃度が測定されている。その結果を Table 4⁴⁾ に示す。

遼寧省のダイオキシン濃度の経年変化を見ると、1985年から2008年まで全体のダイオキシンの濃度は増えている。特に、1999年からダイオキシンの濃度は、急激に増加している。原因としては、2000年頃から中国の経済は年率10%以上で、高速成長し、それに伴いダイオキシン類の発生源である発電量、鋼鉄などの生産量が急激に増加したためである。

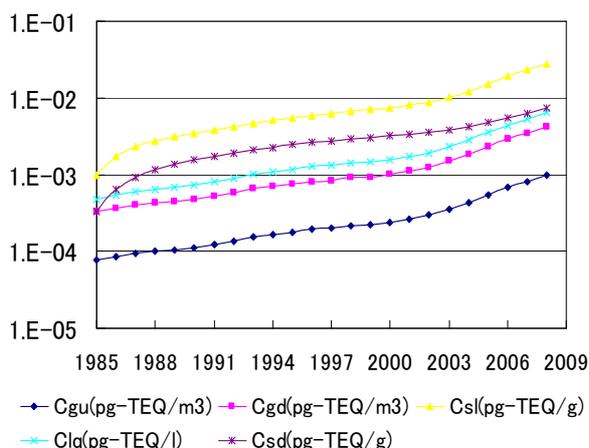


Fig.5 Calculation result of dioxin in Liaoning Province, China

計算によるダイオキシン濃度は、土壌>底質>水域>下層大気>上層大気の順になっている。Table 4 の実測値と比較すると、計算による底質と土壌濃度は、約 1/10 ぐら

い小さな値となった。

5.2 考察

計算値は実測値より小さくなった原因としては、One Box 型マルチメディアモデルでは、1つのメディアの平均濃度を算出するので、局所的な高濃度を再現できなかった点にある。また、今回の計算では1960年から1990年にかけて大量のダイオキシン排出があると推定される農業からのダイオキシン排出量を考慮していないことも影響している。

Table 4 Concentrations and toxic equivalents of PCDD/Fs in soil and sediment in China: mainland, Hong Kong and Taiwan

Sample type	Location	Concentration I-TEQ pg g ⁻¹	
		Range	Average
Soil			
Mountain	Beijing	0.09–2.4	0.19
Farmland	Beijing	0.14–3.7	0.74
Urban area	Beijing	0.42–3.6	1.41
Sediment			
Nayang Lake	Shandong	0.44–0.86	–
Rizhao coastal water	Shandong	0.80	–
Yantai coastal water	Shandong	0.16	–
Jiaozhou Bay,	Shandong	1.75–4.88	–

6. まとめ

本研究では、構築したマルチメディアモデルを用いて、1985年から2009年までの大気と土壌へのダイオキシン排出量を推定し、中国遼寧省でのダイオキシン濃度予測を行った。土壌と底質のダイオキシン濃度の計算値は、実測値と比較して約1/10小さくなった。計算値が小さくなった原因としては、農業からのダイオキシン排出を考慮していないことが考えられる。今後、農業からのダイオキシン排出量を推定し、モデルの精度向上に取り組む予定である。

参考文献

- 1) 国連環境計画 (UNEP) : Standardized Toolkit for Identification and Quantification of Dioxin and Furan Release
- 2) L v Yahui, Huang J un, Yu Gan, Yang Xi : Comparison of the dioxins release inventories of China and other countries (Chinese)
- 3) 中国統計年鑑「1985年～2008年」
- 4) Gene J. Zheng, Anna O.W. Leung, Li Ping Jiao, Ming H. Wong : Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans pollution in China: Sources, environmental levels and potential human health impacts (2008.2.20)