

京都大学	博士 (工学)	氏名	小柴 絢一郎
論文題目	動的サブスタンスフロー・環境動態モデルによる ポリ塩化ビフェニル排出抑制策の効果推定および 短鎖塩素化パラフィンの排出量・環境中濃度推定		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、サブスタンスフローモデルおよび環境動態モデルを利用して、過去から現在におけるポリ塩化ビフェニル (PCB) および短鎖塩素化パラフィン (SCCPs) の排出量や環境中濃度を推定するとともに、各種 PCB 排出抑制策による環境中への PCB 排出削減量を評価した結果をまとめたものであって、5 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本論文の背景と目的ならびに論文の構成を述べている。本研究で対象とした PCB および SCCPs は、どちらも難分解性、生物への高蓄積性、長距離移動性、有害性の 4 つの性質を持った残留性有機汚染物質 (POPs) である。これら POPs は残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約で規制されており、条約発効時の対象であった 12 物質群はレガシー POPs と呼ばれ、条約発効後に規制対象に追加された POPs は新規 POPs と呼ばれている。PCB はレガシー POPs に属し、国内では 1970 年代に既に製造禁止となっていた。処理施設の立地は難航し、PCB 廃棄物の処理が本格化したのは 2004 年からであるが、高濃度 PCB 廃棄物については、処理完了を迎えつつある。PCB の環境排出や環境中での挙動に関して、これまでに多くの研究がなされてきたが、PCB 分解処理事業の効果を事後的に検証することは十分になされていない。SCCPs は新規 POPs に属し、近年まで生産・輸入されていた。PCB に比べ SCCPs の環境排出等に関する知見は不足しており、有効な対策の実施には発生源の把握等が重要である。そこで本論文では、POPs および POPs 含有製品の生産・使用から保管・廃棄までのライフサイクルを対象とした製品用途別のサブスタンスフローモデルを用い、各段階のフローやストックに排出係数を乗じることで、POPs の環境排出量の推移を推定するとともに、推定した排出量を環境動態モデルの入力として環境中濃度の推移を推定している。また、環境中濃度と実測値とを比較することにより、排出インベントリの妥当性の検証や、未考慮の発生源の寄与を検討し、各種 PCB 対策の効果を推定することや、SCCPs の排出経路を把握することを本論文の目的としている。</p> <p>第 2 章では PCB に関するサブスタンスフローモデルを構築し、1950 年から 2030 年までの環境中への PCB 排出量を推定し、さらに動的推定可能な環境動態モデルを構築し、環境中 PCB 濃度を推定した。環境中濃度推定値と実測値との比較により、サブスタンスフローモデルおよび排出量推定についての手法としての有効性を検証し、考慮できていない PCB 発生源の存在可能性について考察している。PCB のサブスタンスフローモデルにおいては、PCB および PCB 含有製品の生産・使用・保管・漏洩・紛失・不適正処分・分解処理といったプロセスを考慮するとともに、セメント製造等の熱工程からの非意図的な PCB 生成を含めて、大気・水・土壌への PCB の環境排出量を推定している。各プロセスからの排出は、フロー量またはストック量に排出係数を乗じて推定している。特に揮発プロセスでは、物性の違いを考慮し、1 塩素化物から 10 塩素化物までの PCB 同族体別に排出係数を設定している。また、環境動態モデルにおいては、国立環境研究所の作成した定常状態モデル (Mackay レベル 3) である MuSEM をベース</p>			

として、環境中濃度の時間的推移を予測可能な動的モデル (Mackay レベル 4) に拡張をしている。対象とする媒体は、大気・水・底質・土壌および植生である。水・底質は淡水と海水を区別し、土壌は自然地・農地・都市部を区別する。環境中濃度実測値としては、環境省による全国 30 地点以上での複数年にわたる測定データや、年代特定された底質コア試料の分析結果を用いている。推定された PCB の環境排出量は、1970 年代にピークを持ち、PCB の生産・使用禁止を受けて排出が急減していた。また、2000 年代後半から本格化した PCB 廃棄物分解処理事業により近年の PCB 排出量の減少が加速しており、2030 年には PCB 製品からの排出ではなく熱工程からの排出が主要な発生源になると推定している。環境中濃度予測値は、実測値での減少傾向をおおむね再現していたが、大気中の 2 塩素化物濃度を過小推定しており、未考慮の発生源 (顔料不純物) の影響と推察している。

第 3 章では、第 2 章で構築した PCB サブスタンスフローモデルを応用することによって、PCB 排出抑制策の効果推定を行なっている。具体的には、過去に実施された PCB の製造禁止などの排出抑制策や、今後実施されうる将来的な仮想抑制策に関するシナリオを設定し、シナリオ毎に排出量を推定することで、排出抑制策毎の 1950 年から 2050 年までの PCB の環境排出量削減効果を推定している。評価対象とした対策は、1) 生産・使用規制、2) 廃棄物保管、3) 保管厳格化、4) 分解処理、5) 処理促進 I (掘り起こし調査による電気機器類の分解処理量増加)、6) 処理促進 II (シーラント、有機顔料、その他開放系製品を分解処理対象に追加) の 6 種類である。なお、1) から 6) までの対策では排出量に変化しない熱工程からの非意図的 PCB 生成は、シナリオ間での差が生じないことから、第 3 章では評価対象外としている。また、2) 廃棄物保管と 4) 分解処理の削減効果の比較にあたっては、評価期間を 2050 年から 2100 年まで延長した場合や、保管中の紛失率が経年的に増加する場合について、感度解析を実施している。対策効果は、1) 生産・使用規制が最大で、次いで 2) 廃棄物保管と 4) 分解処理が同程度であった。ただし、感度解析の結果、長期的には 4) 分解処理の効果が 2) 廃棄物保管の効果を上回り、分解処理の重要性を指摘している。

第 4 章では、第 2 章で構築したモデルを、新規 POPs である SCCPs について適用し、1950 年から 2050 年までの環境中への排出量を推定している。特に、排出量推定におけるパラメータの知見不足に対応するため、パラメータ不確実性を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施している。また、既往研究で考慮されていなかった SCCPs 含有製品のマテリアルリサイクル工程を含めた排出量を推定している。推定の結果、近年の主な発生源は SCCPs 含有製品ストックからの揮発であるとした。また、環境中 SCCPs 濃度を推定し、実測値との比較を行うことで、未考慮の SCCPs 発生源の存在可能性や、モデルの空間分解能の低さによる影響について考察している。

最後に、第 5 章において、本研究の結論、課題および今後の展望を述べている。