

研究課題番号	3-1904
研究課題名	「最終処分場からのPOPs及びその候補物質の浸出実態の把握手法及び長期的な溶出予測手法の開発に関する研究」
研究実施期間	令和元年度～令和3年度
研究機関名	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所
研究代表者名	矢吹 芳教

1. 研究開発目的

本研究では、日本国内各地の最終処分場（主に管理型処分場）の浸出水に含まれる残留性有機汚染物質（POPs）及びその候補物質（以下、POPs等とする）の分析法を構築する。また、濃度実態及び廃棄物層内での挙動を解析することにより、管理基準等の策定にフィードバックする。さらに、POPs等に対して普遍性のある浸出水濃度の予測式の構築を行い、処分場におけるPOPs等の長期的な適正管理に資することを目的とする。重点的に取り組むPOPs等は、PCNs、PFOA、PFOS、PFHxS、HCBd、HBCDおよびジコホルとする。PCNsのように国際的に研究が進んでおらず、本研究が先端的な研究になるものについては、海外への発信を意識して、有機フッ素系化合物（PFASs）のように国内での緊急性が求められるものについては、国内へのフィードバックを重点的に行う。サブテーマごとの目標は以下のとおり設定している。

- ・サブ1「最終処分場浸出水のPOPs等モニタリングに適した分析法の構築とこれらを活用した実態解明」
- ・サブ2「カラム実験及び既存の情報整理による最終処分場内のPOPs等の溶出挙動の解明」
- ・サブ3「長期適正管理のためのPOPs等の挙動シミュレーションモデルの構築」

2. 研究目標

（1）研究目標

【研究課題全体の目標】

日本国内の各地の最終処分場におけるPOPs等の濃度実態および挙動の情報を取得し、そのデータを解析することにより、廃棄物の埋立構造に対応した普遍性のあるPOPs等の浸出水濃度予測モデルの構築を行い、POPs等の処分場における長期的な適正管理に資する。具体的には、国内処分場の濃度実態の把握、処理過程での消失、廃棄物層内外での挙動を解明し、管理基準等の検討にフィードバックする。重点的に取り組むPOPs等としては、PCN、PFOA、PFOS、PFHxS、HCBd、HBCDおよびジコホルとする。

PCN等のように国際的に研究が進んでおらず、本研究が先端的な研究になるものについては、海外への発信を意識して、PFAS等のように国内での緊急性が求められるものについては、国内へのフィードバックを重点的に行う。

サブテーマ1では、最終処分場浸出水のPOPs等モニタリングに適した分析法を構築し、これらを活用して浸出水のPOPs等の濃度実態を把握し、埋立廃棄物や処分場構造とPOPs等浸出実態との関係性を解析する。サブテーマ1の成果を踏まえて、サブテーマ2では、廃棄物のカラム実験及び既存の情報整理により廃棄物処分場内のPOPs等の溶出挙動を解明し、このデータをサブテーマ3に提供する。サブテーマ3では、サブテーマ1と2のデータを活用して、長期適正管理のためのPOPs等の濃度予測モデルの構築を行う。

サブテーマ1

- ①PCNの廃棄物処分場の浸出水中濃度の把握、処理過程での消失、廃棄物層内外での動態については、国際的にも研究例がない。このため、これらの研究成果は、英文誌および国際学会で発表することにより海外に発信し、この分野での国際的に先導的な成果を上げる。最終的

には国内の25か所の処分場において濃度実態を把握する。まずは5か所程度の処分場について、浸出水濃度の季節変動、排水処理過程での濃度変動とその要因についても調査し明らかにする。

②PFASsについては、国内外でも研究例は多くあり、特に米国の研究が進んでいる。しかし、国内では、地理的にあるいは埋立物の面から広範囲の処分場において、浸出水中の濃度実態を明らかにしている例はないことから、PCNsと同じ調査地点で濃度実態および処理過程での濃度変動を明らかにする。また、前駆物質については国際的にも研究例が少ないことから、前駆物質であるテロマー類の濃度実態について分析法を確立して把握する。PFASsの分析法についても、高濃度有機物含有試料においてもPFOA・PFOSの定量下限値5 ng/Lが達成できるよう前処理法を確立する。

③HCBdの廃棄物処分場の浸出水中の濃度については、これまで国内外の研究例はほとんどなかったが、初年度の調査から浸出水からほとんど検出されなかった。この傾向を確認するために、PCNsと同じ地点において、浸出水濃度の季節変動、排水処理過程での濃度変動とその要因についても調査し明らかにする。

④ジコホルについても過去の研究例から、浸出水から検出されない可能性が高いため、分析法を確立後、HCBdと同様の目標で調査する。

⑤HCBdの廃棄物処分場の浸出水中の濃度については、これまで国内外の研究例はほとんどない。このため、PCNsと同じ地点において、浸出水濃度の季節変動、排水処理過程での濃度変動とその要因についても調査し明らかにする。

サブテーマ2

①カラム試験を実施するに当たり、カラムに充填する試料としてPOPsが含まれている試料を選定する必要がある。そこで、最終処分場に埋め立てられている廃棄物を選定し、研究対象となっているPOPs類が含有されていることを確認するとともに、含有されているレベルを把握する。

②最終処分場においてPOPsが移動する原理としては、移流による移動と拡散による移動が考えられる。現場でのPOPsの溶出挙動を解明するためにも、またカラム試験の結果を解釈する上でも、POPsの溶出メカニズムを正しく把握することが重要である。そこで本年度は、拡散現象がどの程度寄与しているのかを把握する為に、廃棄物中でのPOPsの有効拡散係数（廃棄物との物理的遅延効果と化学的遅延効果を加味した拡散係数）を推定する。

③移流現象によってPOPsが移動する時、どのような溶媒や因子によって溶出・移動が促進されるのかを明らかにする必要がある。そこで、文献調査等により溶出促進因子を把握するとともに、カラム試験に先立ち、異なる溶媒を用いたバッチ試験を行って最終処分場での移流現象を促進する因子を把握する。

④以上を踏まえた上で、カラム試験を実施し、塩素数別の溶出係数などの情報を得て、サブテーマ3へ提供する。

サブテーマ3

①処分場におけるPOPs等の長期挙動を予測するためのシミュレーションモデルを構築するため、初年度はPFASsに着目した検討を実施し、長期挙動予測を行うための基礎的（科学的）な知見を整理する。また、既存のシミュレーションモデルで濃度予測を行い、改善点の抽出を行う。

②シミュレーションモデルとして有限要素法による移流分散反応方程式による予測モデルの構築を実施し、マクロな視点で処分場をいくつかのコンパートメントに分けて計算する手法で、実処分場におけるモニタリング結果（サブ1 連携）との比較から適正モデルの構築を行う。引き続き、廃棄物処分場浸出水から検出されやすいと推察されるPCNについて長期挙動予測を行うための基礎的（科学的）な知見を整理する。同時に、焼却灰や汚泥、中間覆土、

砕石に対するPFASsの吸着特性の把握を実施する。また、基礎的な移流分散反応方程式に吸着能等を考慮しつつ、溶出濃度境界の考え方についても整理する（サブ2 連携）。実サイトでの調査にも参画し、処分場構造を鑑みた溶出シミュレーションの計算方法について構築する。埋立時期・埋立廃棄物種・処分場構造に着目し、マクロな視点での浸透水の流れを評価できる考え方を明らかにする。具体的には、降雨浸透後の水量挙動とPOPs等、その他無機成分等の浸出水挙動を、カラム溶出試験結果と総合的に考えた上で、カラム試験での時定数モデルを活用する。今後、解析場を二次元、三次元に拡張して実処分場の構造等を反映させ実サイトのPOPs等の挙動予測を行う。

3. 研究の進捗状況

①サブテーマ1

〔計画以上の進展がある〕

サブテーマ1では、1年目は、PFOA、PFHxS及びPCNを対象として、高有機物濃度、高塩類濃度あるいは高pH浸出水に対応できるよう必要に応じて改良・開発すること、PFOSとHCBdについては1年目に全国から5か所程度の産業廃棄物及び一般廃棄物管理型埋立処分場を選出し、その浸出水について実態調査を開始することを目標としていた。

これまでにPCN、PFOA、PFOS、PFHxS、HCBdおよびHBCDについて、概ね分析法を構築しており、全国5か所の処分場で濃度実態調査を行っている。また、PCNおよびPFASについては3か所の処分場において、排水処理過程での濃度変動についても明らかにしている。特にPCNについては、分析法の構築および濃度実態の把握など国際的にも先導的な研究成果を得ることができた。さらに、PFASsの分析手法については、3機関によるクロスチェックを実施しており、そのZスコアが±2以内に入ることを確認した。

②サブテーマ2

〔計画以上の進展がある〕

サブテーマ2では、管理型最終処分場に埋め立てられている主な廃棄物である焼却灰を選定し、POPsの含有量を測定した。産業廃棄物／一般廃棄物、焼却飛灰、焼却主灰の種類によらず、PCNs、PFOSs、PFOAsが含まれていることを確認し、カラム試験の充填試料として使用できることが明らかとなった。また当初は予定していなかったが、焼却灰中のPOPsを低減させる方法として、加熱脱塩素化処理が非常に有用であることも示すことができた。

拡散チューブ試験を行うことにより、焼却飛灰中および焼却主灰中のPCNsの有効拡散係数を推定し、 10^{-12} ～ 3.3×10^{-14} m²/sのオーダーであることを示した。Naやその他の重金属の水中の拡散係数と比較して、拡散移動の速度はかなり遅いことが予測され、拡散移動よりも移流現象による移動が支配的であることを示した。

最終処分場で廃棄物が接触しうる溶媒として、酸・焼却飛灰中の重金属類の安定化薬剤であるキレート薬剤・界面活性剤・フミン質を選定し、バッチ式溶出試験を行って溶出濃度を比較した。その結果、界面活性剤やフミン質がPCNsの溶出を促進することを明らかにした。

③サブテーマ3

〔計画より一部が遅延している〕

文献レビューや、溶出と吸着挙動を反映させた簡易的な一次元シミュレーションなどは実施できたが、バッチやカラム等吸着試験については実施することができなかった。これは、令和元年台風19号によって職員宅等が被災したためであり、次年度以降に挽回するよう努める。

4. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

PCNsはダイオキシン類と同時分析、PFOA、PFOSおよびPFHxSはその他のPFASsとともに同時に分析のように、本研究で構築する分析手法は既存の規制項目や類似の物質群との同時分析を可能とす

るものであり、これらが新たに規制項目になった際に、現在の規制項目を分析している分析機関であれば新たな設備投資をせずに分析することができる。このため、当該物質が法令やガイドライン等により測定の対象となった場合も、速やかな対応が可能となる。また、濃度実態の把握や排水処理過程での消失は、排水基準等を策定する際に重要なデータとなり、濃度予測モデルの構築は処分場の長期管理に必須の処理施設の維持更新のための重要な情報となる。さらに、(3)で記載したような科学的な知見や、構築される分析方法等については、行政機関から、POPsに関する国際的なプラットフォームに情報発信することで、その分野における日本の当局のプレゼンスを高めることに貢献できる。

5. 評価者の指摘及び提言概要

実務に精通した研究者・職員が現場の状況を踏まえながら研究を着実に進めていて、研究計画に描かれたことを中間評価の段階として達成している。汎用的な機器で必要な精度を有する分析法を開発し、PCN の加熱脱塩処理および PFASs の活性炭処理が有効であるなど、定量的分析から明確にした点は評価できる。国内のみに止まらず海外にも展開できるような成果を期待する。他方、浸出水シミュレーションはその成果をどの様に使うのか疑問が多い。精緻に長期予測するには、原因となる廃棄物（の塊）の処分場内の位置の特定、流出・流達メカニズムの解明等が必要であり、難易度が高い。簡易・簡便なスクリーニング方法や定性的な判定方法が有用ではないか。他のサブテーマと連携してとりまとめに努力していただきたい。

6. 評点

評価ランク：A