

# S2-18 PFASによる土壤・地下水汚染の海外事例紹介

○椎根大<sup>1</sup>・渡辺菜月<sup>1</sup>・中村太郎<sup>1</sup>・藤崎幸市郎<sup>1</sup>・平尾壽啓<sup>1</sup>  
PFOS等およびその前駆体を対象にした土壤・地下水汚染の挙動評価に関する検討部会  
「土壤環境センター」



## 1.はじめに（本ポスターの内容には報文投稿後の検討結果等を含んでおります）

- 海外のPFAS汚染事例に関し、より詳細に汚染状況が把握され、それぞれのサイトに応じた対策技術を具体的に紹介している事例について、PFASによる土壤・地下水汚染の挙動評価を行ったための基礎情報を収集するために、文献調査を行った。
- 海外の公的な機関が公開情報として公式のWebサイトに掲載している情報をサイト毎に整理した。

| サイト          | 国  | PFAS汚染の原因                                   |
|--------------|----|---------------------------------------------|
| コテージ・グローブサイト | 米国 | ミネソタ州A社(化学メーカー)の事業所における、PFAS製品の製造、場内廃棄、実証試験 |
| オークデールサイト    | 米国 | ミネソタ州A社(化学メーカー)の廃棄物埋立処分場における、PFAS廃棄物の埋め立て   |
| エディンバラ空軍基地   | 豪州 | 南オーストラリア州の空軍基地内におけるPFAS含有泡消火剤を用いた消火作業や消火訓練  |

## 2.コテージ・グローブサイト【PFAS含有製品の製造や廃棄等の事業活動によるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- 事業場として1947年から稼働し、PFAS含有製品の製造を目的に、1950年代～2002年に炭素数8のPFAS(PFOS, PFOA, PFOSの前駆体)を生産
- PFAS生産工程の廃棄物や廃水処理スラッジは1970年代まで対象地内に廃棄
- 2004年のミネソタ州における飲用水調査でのPFBA等の検出をきっかけに地下水汚染が発覚



図1 コテージ・グローブサイト周辺マップ\*

\* Minnesota Water Research Digital Library公開資料を基に作成

- 2008年から土壤、地下水調査を実施。調査の結果、D5、D9、消火訓練場エリアで土壤汚染指標値を超過(PFOSとPFOAの各最高濃度:D5エリアで10,000 µg/kg、21,800 µg/kg)。地下水については、全てのエリアで地下水の健康リスク濃度を超過(PFOSとPFOAの各最高濃度:D5エリアでPFOS 26 µg/L、D2エリアでPFOA 619 µg/L)
- ミシシッピ川の下流域(事業場から最大約6.4km)の底質では、土壤汚染指標値の超過は認められなかった。河川水ではPFOS、PFOA、PFHxS、PFBSが地下水の健康リスク濃度を超過していた(最下流地点でPFOS不検出、PFOA 0.0693 µg/L)

### エリア

### 年代

| エリア                | 年代         | 地盤に関する説明                                           |
|--------------------|------------|----------------------------------------------------|
| D1エリア<br>(事業場の南東部) | 1980年代半ば   | PFAS含有廃棄物を貯蔵するコンクリート製貯蔵槽を設置                        |
|                    | 1970年代初め   | 上記貯蔵槽を撤去                                           |
| D2エリア<br>(D1西側)    | 不明         | 廃棄場を閉鎖し、埋め立て                                       |
| D5エリア<br>(事業場の南部)  | 1970年代初め   | 固体廃棄物の焼却を行うためのビットを設置                               |
| D9エリア<br>(D2西側)    | 不明         | ビットを埋め立て(現在は地表面にビットの形跡はない)                         |
| D1ゾーン              | 1968～1971年 | 泡消火剤の試験を目的とした消火訓練場を設置                              |
| 消火訓練場<br>(事業場の西部)  | 1972年      | 消火訓練によって生じた廃水は下水へ排水                                |
|                    | 1981年      | 消火訓練で生じた廃水を貯蔵するタンクを設置<br>貯蔵池内の廃水は事業場内の廃水処理施設に搬送し処理 |

### 【調査結果】

### 【浄化対策】

- 2010年から浄化対策が実施され、現在も継続中
- これまでに約30,500 m<sup>3</sup>のPFAS汚染土壌を掘削し、場外の埋め立て処分場へ搬出。地下水は井戸から揚水後、粒状活性炭による浄化後に事業場で冷却水等として利用後、ミシシッピ川へ放流

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- 国内ではまだ事例の少ない事業場を汚染源としたケースでの、汚染の拡散状況が明らかにされている
- 媒体(土壤/水)の違いによる、PFASの検出状況の違いが、環境中のPFASの挙動を理解する上の参考になり得る

## 3.オークデールサイト【廃棄物処分場跡地におけるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- ミネソタ州ヘニピン郡の廃棄物処分場跡地、非連続の3つの地区で構成
- 1940年から1960年代にA社が液体・固体の産業・一般廃棄物を地区内の掘削溝に埋め立て
- 2002年に既存の地下水回収システムからPFASが検出、A社がオークデールサイト他、複数場所へPFAS含有廃棄物を埋め立てていた履歴を報告
- 2005年に追加のサンプリングと補足評価プログラムを、2006年12月に追加現地調査を行い、既存地下水回収システムの有効性の評価と土壤浄化のための調査を実施
- 2007年に、A社と州はオークデールサイトを含めたPFAS廃棄物処分場における浄化調査及び対応措置に関する合意書を締結。PFAS動態モデルを構築し、将来のPFAS露点状況を予測

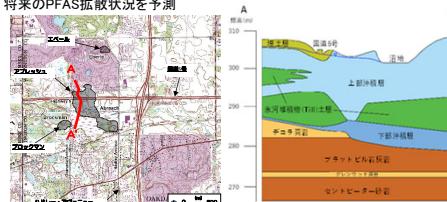


図2 オークデールサイト周辺マップ\*

\* Minnesota Pollution Control Agency公開資料を基に作成

### 【調査結果】

2005年11月から2006年3月にかけ、15カ所でのボーリングを実施し、以下の土壤又は地下水におけるPFAS濃度を報告

| 試料名                  | PFAS(PFO) | PFO       | PFOA   | PFBS   | PFBA     | PFHxS    |
|----------------------|-----------|-----------|--------|--------|----------|----------|
| 単位                   | µg/kg     | µg/kg     | µg/kg  | µg/kg  | µg/kg    | µg/kg    |
| 国道5号北側<br>表層土壤       | -         | 25～1,500  | 0.8～19 | ND～2.8 | ND～13    | ND～2.8   |
| 2006年12月調査<br>全土標準試料 | -         | 21～       | 0.8～   | ND～220 | ND～1,600 | ND～5,600 |
| 国道5号南側<br>表層土壤       | -         | 0.99～     | ND～    | ND～2.5 | -        | ND～13    |
| ボーリング試料              | -         | 9,200     | 1,400  | -      | -        | -        |
| 単位                   | µg/L      | µg/L      | µg/L   | µg/L   | µg/L     | µg/L     |
| 国道5号北側地下水            | -         | 5.6～2,900 | 24,000 | 2.5～39 | -        | 1.6～59   |
| 国道5号南側地下水            | -         | 5.5～8,300 | 4.4～   | 0.20～  | 190      | 0.45～7.0 |
| プラットビル層地下水           | ND～0.23   | -         | -      | -      | -        | -        |
| セントビータ層地下水           | ND～0.40   | -         | -      | -      | -        | -        |

### 【浄化対策】

PFAS汚染土壌は、濃度分布や汚染深度状況から3種類の処理除去計画案を提案

- ① 深度約1.2mの土壌のみ ② PFOS>30 µg/kg ③ PFOS>6 µg/kg

PFAS汚染地下水は、2種類の暫定対策案を提案

- ① 揚水対策(活性炭吸着処理) ② 暴露経路遮断とモニタリングの組み合わせ

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- シミュレーションにより、無対策の場合は深層地下水にも汚染が拡大する懸念が示された

## 4.エディンバラ空軍基地【軍事基地での泡消火剤使用によるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- 豪州の国家環境管理計画に基づき実施
- 泡消火剤(水成膜泡消火薬剤)を軍用機火災の消火や訓練に使用
- 地震調査において想定された汚染源消火作業を起因とするエリヤ
- 消火作業場所:消火訓練エリア  
泡消火剤流出記録があるエリヤ  
消火剤貯水貯留タンク
- その他エリヤ  
燃料貯蔵施設廃棄物立地  
焼却施設  
表層水の排水経路等  
(雨水や消火後の排水等)  
揚水地下水を散布した植栽エリア  
(二次汚染源の可能性と評価)



図4 エディンバラ空軍基地周辺マップ\*

\* Australian Government Department of Defence公開資料を基に作成

### ● 地表水および地下水

- Q1帶水層 RWC: 890～4,210 kg、MLC: 420～2,580 kg
- Q2帶水層 RWC: 1,170～2,880 kg、MLC: 650～1,750 kg

### 【浄化対策】

- 土壤: PFAS濃度の高いエリヤで浄化対策を実施

- 消防訓練エリヤのPFAS汚染土壤1,359 m<sup>3</sup>(約2,200 t)を掘削

### ⇒ 土壌洗浄実証試験

土壤を80 mm超細～5～80 mm、0.15 mm未満の4分画にて分級・洗浄

PFASカルボン酸塩で97.1%、PFASスルホン酸塩で94.9%の除去率

粘性土では90%以上、砂質土壌では99%以上が粒状活性炭によって除去

処理済み土壌の99.7%⇒消防訓練エリヤに埋立

- 高濃度洗浄残渣等⇒焼却処分(実証試験後、洗浄プラントは2022年5月に解体)

● 以後、高濃度汚染土壤⇒焼却処分

低濃度汚染土壤⇒粒状活性炭を土壤に混合する土壤安定化処理を実施

合計約34,000 tの土壤を処理

- 地下水: Q2帶水層の地下水を揚水

⇒地下水からPFASを除去し、Q2帶水層へ再注入(2019年から稼働)

2023年6月時点、1億1,400万 L以上を処理⇒約24 kgのPFASを除去

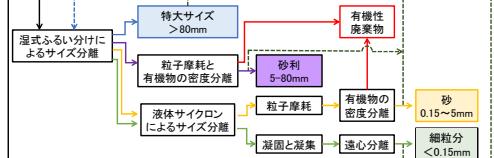


図6 土壌洗浄処理フロー\*

\* Australian Government Department of Defence公開資料を基に作成

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- 国内では明らかとされていない基地内の汚染源が明らかにされている
- 訓練を含む泡消火剤の使用箇所だけではなく、下水処理場や射撃訓練場が汚染源となり得ることを把握できた
- 土壌洗浄の有効性が示されていることが対策検討のうえで参考になる

## 5.おわりに

本報では、米国と豪州の汚染事例について整理した。海外で公開されている汚染状況からは、汚染源から数km以上離れた広範囲な場所においてもPFASによる地下水汚染が確認され、汚染深度も十数mまで達している様子が見られた。PFAS濃度も距離で遞減するのではなく、局所的な高濃度が存在していた。また、汚染対策については、履歴の確認や地下水モニタリングを継続的に実施しながら、汚染源対策や抵触域の汚染対応に取り組むことで改善している様子が確認できている事例もあった。

本部会ではさらに、汚染拡散の実態や調査・対策方法の深掘りを行うことで、汚染状態の評価や季節の影響に繋がる現象把握に向けた検討を行っておりである。