

(S2-17) PFAS による土壌・地下水汚染の国内事例紹介

○岡田雄臣¹・篠原真希¹・稲毛孝章¹・大塚希美子¹・長谷川甫¹

PFOS 等およびその前駆体を対象にした土壌・地下水汚染の挙動評価に関する検討部会

¹土壌環境センター

1. はじめに

近年、ペルフルオロオクタンスルホン酸（PFOS）、ペルフルオロオクタン酸（PFOA）およびペルフルオロヘキサンスルホン酸（PFHxS）等の有機フッ素化合物（PFAS）は国内外で規制が強化されつつある。環境省や都道府県等が実施した調査¹⁾によれば、国内でも河川や地下水等から公共用水域及び地下水に係る PFOS 及び PFOA の指針値（暫定）（以降、暫定指針値という）50 ng/L を超過する PFOS や PFOA が確認されており、報道等も多数なされるなど世間の関心が高まっている。

一般社団法人土壌環境センターではこれまで、PFAS の物質特性や土壌・地下水汚染事例に関する情報を公開資料や文献等から入手し、PFAS の環境中における現象把握に必要な情報として取りまとめてきた。また、令和 6 年度から活動している「PFOS 等およびその前駆体を対象にした土壌・地下水汚染の挙動評価に関する検討部会（令和 6 年度～令和 7 年度）」では、土壌・地下水中における PFAS 汚染拡散の実態を把握し、国内の PFAS 土壌・地下水汚染に適用可能な調査・対策手法を検討するべく、国内外の汚染拡散の実態や土壌・地下水汚染の調査・対策実施状況等について文献等調査を進めている。

本報では、国内の PFAS による土壌・地下水汚染の文献調査結果を、PFAS 汚染発見の契機、土壌・地下水調査結果や対策状況を中心としてサイト毎に整理した結果を報告する。

2. 調査方法

PFAS 土壌・地下水汚染の挙動評価を行うための基礎資料を収集するために、国内外における汚染拡散の実態や土壌・地下水汚染の調査・対策実施状況等について文献等調査を行った。国内事例については自治体や公的機関が公表している事例を中心に調査を行った。実際に使用した情報については 3 章の各節で説明する。

3. 国内事例の紹介

3.1 岡山県の事例

3.1.1 汚染発見契機^{2),3)}

河平ダムを取水場所とする円城浄水場の給水栓水から PFOS・PFOA の暫定水質管理目標値（50 ng/L）（以下、「暫定目標値」）を超える 1,400 ng/L（PFOS・PFOA の合算値）が検出され、令和 5 年 10 月 13 日、岡山県から吉備中央町へ緊急対応の必要性が指摘された。その後、同浄水場では令和 2 年、令和 3 年も暫定目標値を上回っていることが判明した。令和 5 年 10 月 14 日の円城浄水場河平取水ポンプ場での水質調査でも 1,200 ng/L（合算値）が検出された。

上記を受け、岡山県が河平ダムの上流及び下流の河川水の水質調査を行った（図 1 平面図参照）。河平ダムとその上流における PFOA の最高濃度は、河平ダムから 2 km 程度上流の西側沢の奥吉備街道南側に達する地点（F1）で、令和 6 年 8 月までの調査で 54,000～72,000 ng/L が検出された。また、F1 に近接する西側沢の支川 E2 地点では 25～85 ng/L が検出された。これらの地点からの流入水が流れる沢及び河平ダムでは 960～14,000 ng/L が検出された。これ以外での地点は<5 ng/L～17 ng/L であった。河平ダムの下流では、山王橋で 320～560 ng/L が検出され、宇甘川合流後の 2 地点は 50 ng/L を下回った。さらに地下水の水質調査では、山王橋付近で 340～410 ng/L が検出されたが、宇甘川合流後の大下橋下流では<5～5.1 ng/L であった。なお、PFOS は、全地点で定量下限値未満（<2.5 ng/L）であった。

Introduction of soil and groundwater PFAS contamination cases in Japan

Takaomi Okada¹, Maki Shinohara¹, Takaaki Inamo¹, Kimiko Ohtsuka¹, Hajime Hasegawa¹ and Study group of investigation and remediation methods for soil and groundwater contaminated with Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFOS, etc.) and their precursors¹ (¹GEPC)

連絡先：〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F （一社）土壌環境センター
TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

3.1.2 汚染源特定²⁾

1) 資材置場の使用済活性炭調査

最高濃度が検出された西側沢 F1 の近傍、奥吉備街道を挟んだ北側にある資材置場に、再生処理を目的とする使用済活性炭(フレコンバック約 580 袋分)が置かれていた。令和 5 年 10~11 月に県が 30 試料を採取し、「土壌中の PFOS、PFOA 及び PFHxS に係る暫定測定方法(溶出量試験)」に準拠した溶出量試験を行ったところ、0.4 ng/L 未満が 8 試料、0.4 ng/L 以上 10 ng/L 未満が 11 試料、10 ng/L 以上 100 ng/L 未満が 2 試料、100 ng/L 以上 1,000 ng/L 未満が 8 試料、1,000 ng/L 以上が 1 試料(試料 No.27)だった。10 ng/L 以上 1,000 ng/L 未満の 10 試料の全てから PFOA(9.2~928 ng/L)が検出され、9 試料からは PFOS(9.3~196 ng/L)も検出された。濃度が最大であった試料 No.27 は PFOA が 4,550,000 ng/L、PFOS が 0.2 ng/L 未満であった。

2) 土壌・地下水の調査

資材置場内 9 箇所の表層土壌(表層 5 cm 試料)の溶出量は、62~750,000 ng/L であった。一方、資材置場周辺では 15~47 ng/L であった。

資材置場の土壌と西側沢で確認されている PFOS・PFOA の関連を確認するため、資材置場 1 箇所(MW1)及び資材置場北側 1 箇所(MW2)で土壌及び地下水の調査が行われた。また、西側沢 F1 の湧出水の調査も行われた。土質、地下水位、PFOS・PFOA 濃度等の結果を図 1 に示す。

資材置場(MW1)では、表層から GL-13.7 m までの土壌で 7.2~934,000 ng/L の PFOA (溶出)が確認され、地下水中の PFOA は 52,400 ng/L であった。深度方向の土壌の濃度差について、吉備中央町原因究明委員会は「資材置場が埋め立てられた土地であり、巨礫などを含む不均質な地質であることから、表層土壌からの浸透挙動及び地下水面より上の土壌の保水状況の差等が関係しているものと考えられる」としている。一方、資材置場より水位標高の高い MW2 の PFOA 濃度は低濃度であった(表層土壌 7.6 ng/L、地下水 1.0 ng/L)。

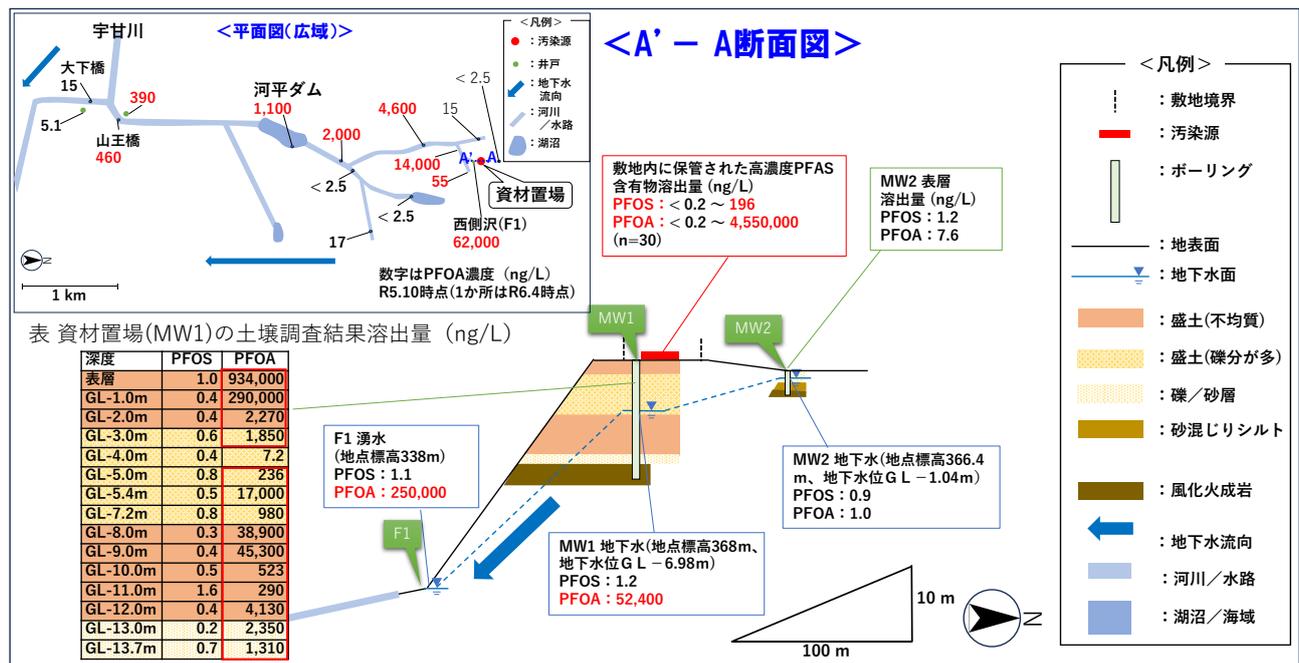


図 1 資材置場 (MW1) と資材置場北側 (MW2) および 西側沢 (F1) の土壌及び地下水調査結果 (「吉備中央町原因究明委員会報告書」資料 2) を基に作成)

3) 吉備中央町原因究明員会による汚染源の特定

吉備中央町原因究明委員会は、使用済活性炭から溶出した主に PFOA が、表層土壌へ浸透し、表層土壌から地下水へ混入していると考えられること、資材置場の地下水が西側沢へ流出していると考えられること、このほかに西側沢近辺に汚染源が存在しないと考えられることから、河平ダム等での公共用水域等の暫定指針値超過の原因は、資材置場に置かれていた使用済活性炭と考えることが妥当と結論付けた。

なお、これらの考察においては、水質試料や土壌試料の直鎖体・分岐異性体の解析や、ペルフルオロカルボン酸(PFCAs)やペルフルオロスルホン酸(PFSAs)の構成割合の解析も実施され、根拠の一助とされた。

3.1.3 対策方法の検討^{2),4)}

吉備中央町原因究明委員会では、高濃度が確認された資材置場の土壌、資材置場から西側沢 F1 までの地下水、西側沢 F1 以降の表流水についての対策方法が検討された。表流水については、降雨時に処理水量が相当量になるため非効率であること、地下水については、資材置場から西側沢 F1 方向へ複数の流れが存在していると推測されること、MW1 の地下水以外に高濃度の地下水が存在する可能性があることから、「効果的な対策のためには、より高濃度の地下水の存在位置を確実に把握する必要がある」とされた。最終的に、「資材置場内の高濃度土壌を掘削除去し、清浄土壌で埋め戻した後、コンクリート等により被覆するとともに、施工後、継続モニタリングにより、濃度の推移を確認する。」とされている。

使用済活性炭は令和 5 年 11 月に撤去済みであるが、令和 6 年 10 月の継続モニタリングでも、山王橋より上流の 3 箇所では 420~5,200 ng/L の PFOA が検出されている⁴⁾。

3.2 岐阜県の事例

3.2.1 汚染発見契機⁵⁾

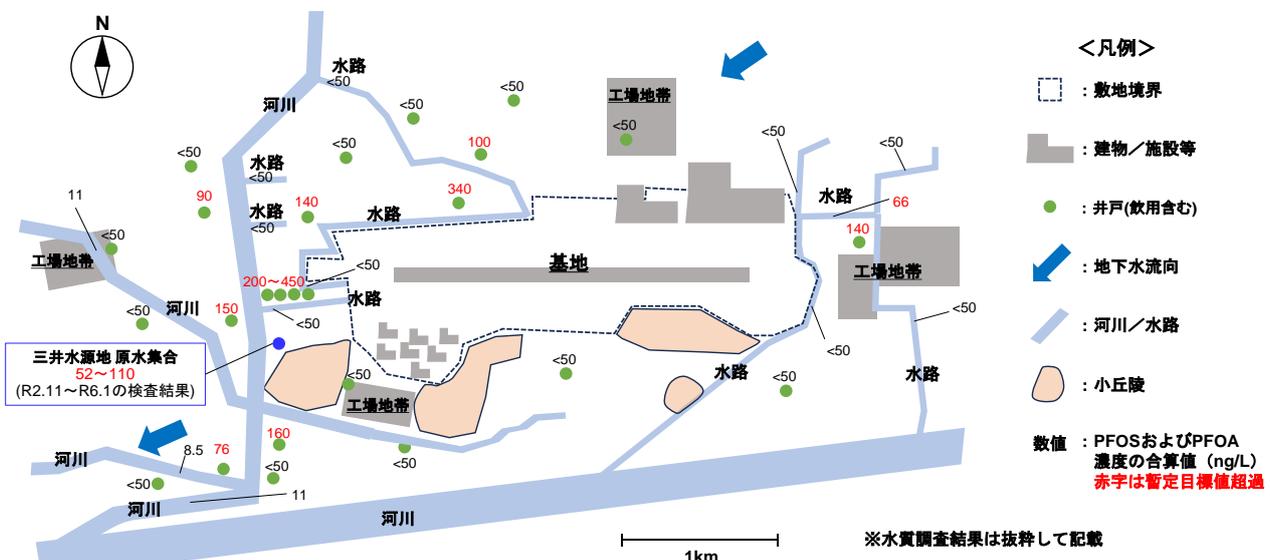
岐阜県各務原市における PFOS・PFOA 汚染は、水道水源である地下水の水質検査によって判明した。令和 2 年 11 月に市内の主要な水道水の原水集合の PFOS・PFOA 濃度を分析した結果、三井水源地において合算値で 99 ng/L が検出され、暫定目標値の超過が確認された（図 2 参照）。これを受けて、令和 3 年 5 月に当該原水集合の元となる取水井 13 箇所の地下水を個別に分析した結果、7 箇所では暫定目標値の超過が確認され、最大濃度は合算値で 550 ng/L であった。

3.2.2 地下水等の水質調査結果

三井水源地の取水井で暫定目標値の超過が確認されたことを受けて、岐阜県と各務原市は、令和 5 年 8 月から令和 6 年 5 月にかけて環境省「PFOS 及び PFOA に関する対応の手引き」⁶⁾に基づき、地下水、河川、水路の水質調査を行った。また、県と市は合同で「PFOS/PFOA に関する専門家会議」⁷⁾を 2 回（令和 6 年 1 月、令和 6 年 7 月）開催し、専門家の助言を受けながら当該調査は進められた。

図 2 に三井水源地周辺における地下水等の水質調査結果を示す⁷⁾。81 箇所の井戸で地下水を調査した結果、20 箇所の井戸で暫定目標値の超過が確認され、最大濃度は PFOS・PFOA の合算値で 450 ng/L であった。河川については 3 箇所を調査し、合算値で 8.5~11 ng/L であった。水路については 13 箇所を調査し、1 箇所では暫定目標値の超過が確認され、その濃度は 66 ng/L であった。なお、基地内井戸のうち 2 箇所では暫定目標値以下、1 箇所では令和 5 年 3 月に 86 ng/L、同年 10 月に 55 ng/L であったことが報告されているが、これら井戸の位置は公開されていない⁷⁾。

図 2 に示した地域は各務原台地に位置する。代表的な地盤構成として、地表は黒ボク土やローム等が覆い、その下部には順に各務原層群、濃尾第二礫層、東海層群、美濃帯堆積岩類が堆積し、濃尾第二礫層が帯水層とされている⁸⁾。



3.2.3 水質汚染への対応

令和3年5月に三井水源地の取水井にてPFOS・PFOA濃度の暫定目標値の超過が確認された後、応急措置として最も高濃度であった取水井の使用を停止し、さらに令和4年4月と令和5年8月には追加で計4箇所の取水井の使用を停止した⁵⁾。その後、配水される浄水中の濃度低減対策として、令和5年10月には三井水源地に活性炭による浄化システムを設置し、原水集合と浄水のPFOS・PFOA濃度を定期的にモニタリングしながら、当該物質の吸着除去効果が維持できるように活性炭の入替えを行うこととしている⁹⁾。なお、昨今の規制状況を踏まえ、PFHxS濃度のモニタリングも行っている。

今後は、発生源の絞込みや浄化対策等の検討を見据え、まずは地下水挙動を把握することが重要であるとし、市内広域の地下水流向・流速の解析結果に基づいて暫定指針値を超過した井戸を4つのエリアに分け、各エリア内で井戸情報（深さ、ストレーナー位置）が判明している井戸を中心に43箇所を選定し、年2回のモニタリングを継続することとしている⁷⁾。また、河川、水路については全ての地点で年2回のモニタリングを継続することとしている。

3.3 静岡県の事例¹⁰⁾

3.3.1 汚染発見契機

静岡市では国内における河川や地下水のPFASが検出されている背景から、過去にPFASが使用されていた事業所を特定するために、PRTRの報告義務が課せられた2010年以前にPFASを使用した可能性がある大規模事業場対象に2023年9月より使用実績について聴取を始めた。結果、市内のふっ素樹脂製造工場にて、2013年以前は使用していたが、2013年12月に使用を停止したという回答があったことから、市内の河川及び当該工場の付近の地下水、水路中の水のPFOS及びPFOAの水質検査を実施した。

3.3.2 水質調査結果

上記回答を受け、静岡市は2013年10月に市内5河川及び当該工場の周辺水路1地点の計6箇所で行った。結果、当該工場の周辺水路の水質でPFOAが270 ng/Lで検出されたため、工場の敷地境界から半径500m以内の井戸5箇所の地下水からのPFAS調査を同年同月に実施し、計4箇所の地下水からPFASが350～1,300 ng/Lの範囲で検出された。また、2023年11月から範囲を広げて地下水調査を実施し、A地区の淡水井戸8箇所、A地区の先端エリアの塩化地下水井戸4箇所、民間井戸（事業所内）3箇所、B地区淡水井戸2箇所、C地区淡水井戸3箇所、で検出された。地形等の関係からA地区とB地区・C地区の淡水地下水は連続していないと推定されており、B地区・C地区の淡水地下水のPFAS検出の原因は別の理由があるとしている¹¹⁾。

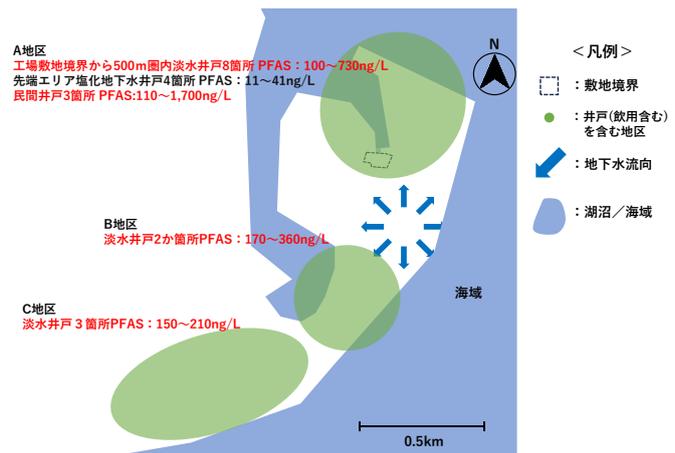


図3 静岡県汚染サイトにおける平面図および水質調査地区と結果（「市長記者説明資料」資料10）を基に作成）

3.3.3 当該工場におけるPFASの取扱い状況及び水質浄化対応

当該工場において、PFASのうちPFOAが使用されていた。水路中の水や地下水からPFOAの検出結果を受け、当該工場においては、応急対策として地下水については揚水+活性炭によるPFOA除去（2023年12月開始）及び三保雨水ポンプ場（当該工場から北側へ概ね50mの位置）内への浄化設備の設置によるPFOA除去（活性炭：2024年5月及び7月に開始）を開始した。将来的には雨水幹線の浚渫、雨水浸透抑制対策（コンクリート被覆）、遮水壁の設置を検討しているとのことである¹²⁾。当該雨水幹線の浚渫（2023年12月開始2024年3月終了）や補修工事は2024年3月をもって完了している。

3.3.4 当該地域における地下水流動

当該工場は静岡市の半島に存在する。半島は駿河湾西域に卓越する南西～北東方向の漂砂によって形成された半島であり、外洋側に高く、内湾側に低い地形を示す3つの砂嘴からなる複合砂嘴である。内湾側から第1砂嘴・第2砂嘴・第3砂嘴に区分されている。半島全域が砂礫によって構成されている¹³⁾。

半島の地下水の流れについて、静岡市の調査結果によると、当該地区の淡水地下水は海水地下水の上にレンズ状に存在しており、地下水は連続していないと推察している（図4）。また、地下水流動解析も実施しており、半島の中央部にある山から海域に向かって地下水は流れていると想定している。この結果より当該工場の地下水は南側から北側に流れる傾向にあり、内陸部への流れはないとしている。さらに、いくつかの淡水レンズが独立して形成されており、各々の淡水レンズ間の地下水の流動はほとんどなく、PFASが淡水地下水の動きによって隣の淡水レンズに移動するという現象は生じないとしている¹¹⁾。

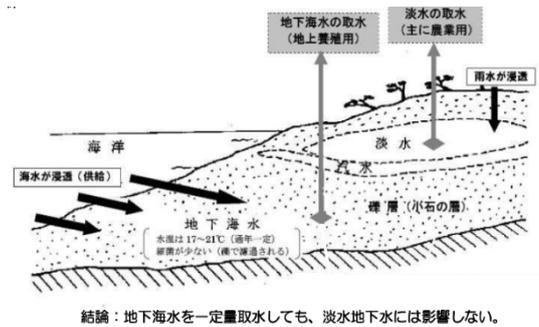


図4 半島における地下水イメージ¹¹⁾

3.4 大阪府の事例

3.4.1 汚染発見契機等

当該汚染サイトの工場では、過去にPFOAを取り扱っていたが、2012年10月にPFOAの使用を全廃した¹⁴⁾。大阪府は2007年から、当該工場周辺の水路・地下水のPFOA等に係る水質調査を断続的に実施し、ホームページで公開している¹⁵⁾。この時からPFOA濃度は暫定目標値を超過していた¹⁵⁾。また、2020年、環境省が公表した有機フッ素化合物全国存在状況把握調査において、当該地域のPFOA濃度が極めて高かったことが明らかになった（5,500 ng/L）¹⁶⁾。

3.4.2 水質調査結果

上記のとおり、当該工場は2007年より地下水の調査が行われ、環境省による水質調査の公表後、2020年より、当該工場周辺の用水路および地下水について各5箇所ずつ水質調査が実施されている¹⁴⁾。図5に当該工場の平面図および水質調査地点とその結果を示す。図5中に記載したPFAS濃度は、2025年2月で公開されている最新の情報である。すべての調査地点でPFOAはPFOSよりも濃度が高く、最も高い値を示したのは、地点BのPFOA濃度30,000 ng/Lであった。2007年から17年間の地点Aの調査で、経時的にPFOA濃度が減少していることが示され、2024年度の調査では1,600 ng/Lまで減少している¹⁶⁾。地下水流向が不明であることから、PFOAの移動方向は不明である¹⁴⁾。

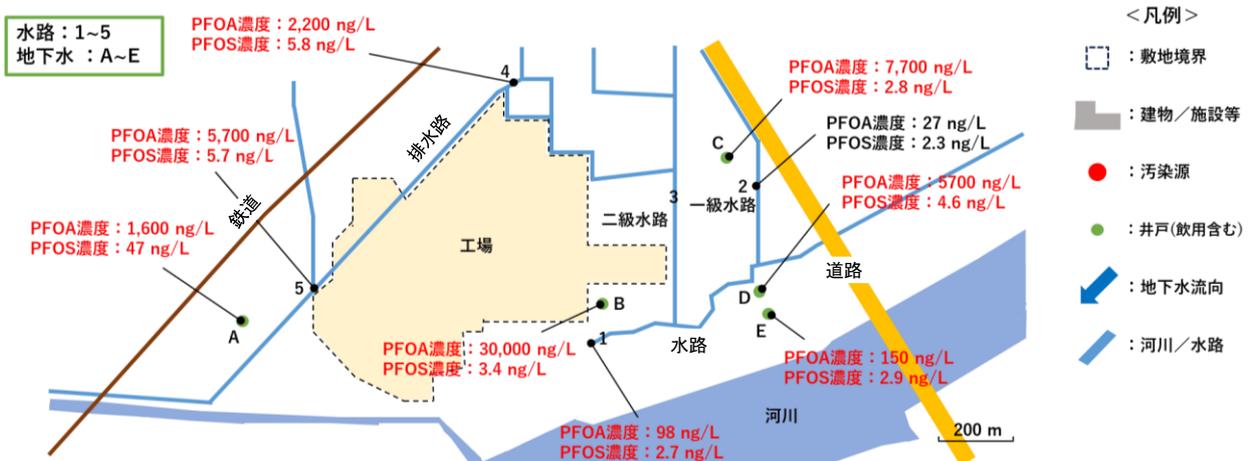


図5 大阪府の汚染サイトにおける平面図および水質調査箇所と結果（「有機フッ素化合物（PFOA等）に係る水質調査結果」資料14）を基に作成）

3.4.3 当該工場における水質浄化対応

2009年以前に当該工場敷地において、地下水揚水により地下水位を下げ、周辺地域への更なるPFASの拡散防止が施された¹⁴⁾。PFOAの経時的濃度低下は、地下水揚水による拡散防止による効果なのか、2012年より国内でのPFOA取り扱いを終了したためなのか、明確な理由は記載されていない。揚水した地下水は、活性炭およびイオン交換樹脂でPFASを除去した後、下水道へ放流する対策を行った。2009年には排水処理装置の新設・高度化を図った。2015年から地下水の揚水処理量を3万t/年から6万t/年に倍増させた。2023年には遮水壁を試験的に設置、性能を検証後、当該工場の敷地全周を対象とした遮水壁の設置に着手した¹⁴⁾。

4. まとめ

本報では、PFOS、PFOA、PFHxS 等による土壌・地下水汚染について、国内事例を収集・整理した結果を報告した。具体的には、汚染源が特定されている岡山県の事例、基地周辺の岐阜県の実例、工場周辺の静岡県および大阪府の実例を対象にそれぞれの汚染状況及び原因、対策の状況等を公開情報から収集整理した。それぞれの事例を図解とともに体系的にとりまとめ、事例ごとの特徴（汚染原因や地形・地質）による汚染拡散状況や対策方法の違いを整理した。

表 1 の通り地下水や水路の分析結果が公表されているが、それら濃度が PFOS+PFOA の合算値である場合も多く、公開情報から詳細な個別の濃度の評価を行うことが困難な事例も多い。また、土壌分析が実施された事例は岡山県のみであり、土壌・地下水中の挙動を把握するための情報も少ないのが現状であるため、より詳細な情報が整理されている、本部会の海外事例調査結果とも連携していくことが重要である。本部会では、引き続きこれらの国内事例の比較・分析を行い、国内における PFOS、PFOA、PFHxS 等による土壌・地下水汚染についての課題抽出や挙動評価を行う予定である。

表 1 各事例の特徴

場所	地形	汚染由来	濃度	対策
岡山県	高原	使用済活性炭	地下水 最大 52,400ng/L(PFOA) 湧水 最大 250,000ng/L(PFOA) 土壌 最大 934,000ng/L(PFOA)	地下水解析 コンクリート被覆 高濃度土壌の掘削除去
岐阜県	台地	基地(推定)	地下水 最大 450 ng/L(PFOS+PFOA) 河川水 最大 11ng/L(PFOS+PFOA) 水路 最大 66ng/L(PFOS+PFOA)	地下水解析 配水の浄化
静岡県	複合砂嘴	工場	地下水 最大 1,700 ng/L(PFOS+PFOA) 水路 最大 270 ng/L(PFOS+PFOA)	地下水揚水 地下水浄化 雨水幹線浸透(予定) 雨水浸透抑制(予定) 遮水壁設置(予定)
大阪府	沖積低地	工場	地下水 最大 30,000ng/L(PFOA) 水路 最大 5,700ng/L(PFOA)	地下水揚水 地下水浄化 遮水壁設置

参考文献

- 1) 環境省：「令和 4 年度公共用水域及び地下水の PFOS 及び PFOA 調査結果一覧」, <https://www.env.go.jp/content/000212639.pdf> (参照 2024-12-25) .
- 2) 吉備中央町原因究明委員会 (2024)：「河平ダム等における PFOS 及び PFOA の暫定指針値超過事案に関する報告書」 <https://www.town.kibichuo.lg.jp/uploaded/attachment/10756.pdf> (参照 2024-12-26) .
- 3) 吉備中央町(2023)：「円城浄水場の有機フッ素化合物等の検出に係る町の対応状況等について」, 2023-11-2. <https://www.town.kibichuo.lg.jp/uploaded/attachment/9176.pdf> (参照 2024-12-26) .
- 4) 岡山県(2024)：「吉備中央町内の PFOS・PFOA 事案に係る公共用水域等の継続モニタリング結果について」, 2024-10-17, <https://www.town.kibichuo.lg.jp/uploaded/attachment/11257.pdf> (参照 2024-12-26) .
- 5) 各務原市：「令和 5 年 7 月 28 日記者会見について」, https://www.city.kakamigahara.lg.jp/life/suidou/1001633/1001635/1001658/1018778.html?utm_source=chatgpt.com (参照 2025-01-05) .
- 6) 環境省：「PFOS 及び PFOA に関する対応の手引き」, <https://www.env.go.jp/water/pfas.html> (参照 2025-01-05) .
- 7) 各務原市：「PFOS/PFOA に関する専門家会議」, <https://www.city.kakamigahara.lg.jp/life/kankyogomi/1001490/1022691.html> (参照 2025-01-05) .
- 8) 西村勝弘(2018)：「各務原台地における土地利用の歴史的変遷に関する研究」, 立命館大学博士論文, pp.9-15.
- 9) 各務原市：「三井水源地の PFOS・PFOA 状況」, <https://www.city.kakamigahara.lg.jp/life/suidou/1001633/1001635/1001658/1019602.html> (参照 2025-01-05) .
- 10) 静岡市：「市長定例記者会見」, 2023-12-8, https://www.city.shizuoka.lg.jp/s8957/s012552.html#h2_14 (参照 2024-09) .
- 11) 静岡市：「市長定例記者会見」, 2024-05-10, <https://www.city.shizuoka.lg.jp/s8957/s013773.html> (参照 2024-09) .
- 12) 静岡市：「PFAS に係る三者連絡会」, <https://www.city.shizuoka.lg.jp/s5382/s012237.html> (参照 2024-11-14) .
- 13) 柴正博 (2014)：「静岡県の地質 三保半島のおいたち」, 自然史しずおか, No.46, p.11-12.
- 14) 大阪府：「有機フッ素化合物 (PFOA 等) に係る水質調査結果 (令和 6 年 8 月) について」, https://www.pref.osaka.lg.jp/documents/31264/r608_result.pdf (参照 2024-12-09) .
- 15) 大阪府：「摂津市内の PFOA 等調査結果 (大阪府実施)」, <https://www.pref.osaka.lg.jp/o120080/kankyohozen/shidou/pfoa.html> (参照 2025-01-14) .
- 16) 環境省：「令和 2 年度有機フッ素化合物全国存在状況把握調査結果一覧 (PFOS 及び PFOA)」, <https://www.env.go.jp/content/900517680.pdf> (参照 2024-12-09) .