

土壌・地下水汚染を総合的に捉えた幾つかの対応事例

○中島 誠¹・佐藤徹朗¹・鈴木弘明¹・土壌・地下水汚染の総合的な対応に関する検討部会¹

¹土壌環境センター

1. はじめに

本来、土壌汚染と地下水汚染は不可分なため、土壌汚染対策の実施にあたって地下水汚染の存在を無視することはできない。また、水循環基本法が施行され、地下水が「国民の共有財産」と位置付けられた現在、少なくとも土壌汚染に起因する地下水汚染の敷地外への流出・拡大は避けるべきであり、既に流出し残存する地下水汚染への対応のあり方についても検討が必要であると考えられる。

(一社)土壌環境センターでは、土壌・地下水汚染を一体化した合理的な対応方法について、土壌・地下水汚染の総合的な対応に関する検討分科会(平成30～令和元年度)および土壌・地下水汚染の総合的な対応に関する検討部会(令和2～3年度)を設置して検討を進めており、既報¹⁾では、わが国の土壌・地下水汚染に関わる制度及び大規模汚染の事例とその特性、土壌・地下水汚染の調査・対策に関わる現状と課題等について整理した。

本稿では、国内において土壌・地下水汚染を総合的に捉えて対応された二つの事例を成功事例(グッドプラクティス)として取り上げ、それらの概要をとりまとめるとともに、土壌・地下水汚染を総合的に捉えることの有効性および課題について述べる。

2. 土壌・地下水汚染を総合的に捉えて対応された二つの事例の概要

土壌・地下水汚染を総合的に捉えて対応されたグッドプラクティスとして取り上げる二つの事例は、いずれも地下水汚染の発見を契機としたものである。

2.1 熊本県熊本市のガソリンによる地下水汚染への対応事例

2.1.1 調査の契機と地下水汚染機構解明のための調査^{2),3)}

この事例では、1991年1月に井戸水から異臭がするとの市民からの通報があり、熊本市が1～2月に通報者宅及びその隣家の井戸内に浮遊していた褐色油様物質を分析したことによりガソリンによる地下水汚染が発覚したことが、総合的な調査の契機となっている。

地下水汚染の発覚を受けて、まず、熊本市により地下水汚染状況を把握し地下水汚染機構を解明するための調査が行われた。地下水汚染状況については、最初に汚染が確認された通報者宅の井戸から半径1 km以内の地域に存在する98本の井戸を対象に井戸水中のガソリン成分(ベンゼン、アルキルベンゼン類)の調査が実施された。地下水汚染機構については、汚染井戸から回収されたガソリンが2,000 Lに達したことからガソリンスタンド(以下「GS」)が汚染原因施設である可能性が高いと考えられ、通報者宅の井戸から半径約1 km以内に点在する10箇所のGSの周辺で表層土壌ガス調査(君津式に準じた方法による)が行われた。図1に、これらの調査により把握されたガソリン汚染井戸およびGSの位置を示す。Aガソリンスタンド(以下「GS-A」)以南の限られた地域に地下水汚染範囲が限定されること、土壌ガスからガソリン成分ガスが検出された地域は最初に地下水汚染が確認された井戸周辺に限られることが把握された。

次に、GS-Aの北側(X地点)および南側(Y地点)の2箇所での調査ボーリングが行われ、水文地質構造が把握された。そして、把握された水文地質構造と井戸の構造、井戸所有者への聞き取りおよび井戸水中の主要イオンの分析の結果を踏まえて、上記98本の井戸が浅井戸(第一帯水層が取水対象)か深井戸(第二帯水層が取水対象)かの判定が行われ、さらに第一帯水層の地下水流動方向を把握するための浅井戸の地下水位測定が行われた。図2に、GS-A付近の水文地質断面図を示す。汚染は第一帯水層(砂礫層およびAso-4火砕流堆積物)だけで第二帯水層(Aso-3火砕流堆積物)には及んでいないと結論付けられた。

図3に、1991年2月から1992年2月までのガソリン汚染井戸の分布の変化を示す。第一帯水層の地下水は

Response examples of comprehensively capturing soil and groundwater contamination

Makoto Nakashima¹, Tetsuro Sato¹, Hiroaki Suzuki¹ and Study group on comprehensive response of soil and groundwater contamination¹ (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

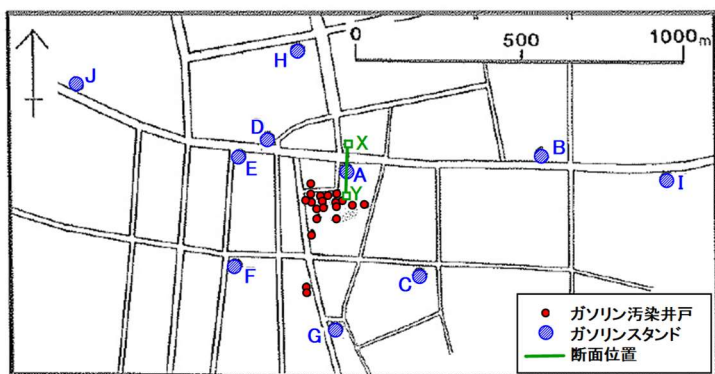


図1 ガソリン汚染井戸およびガソリンスタンドの位置
(中熊ら²⁾を一部修正)

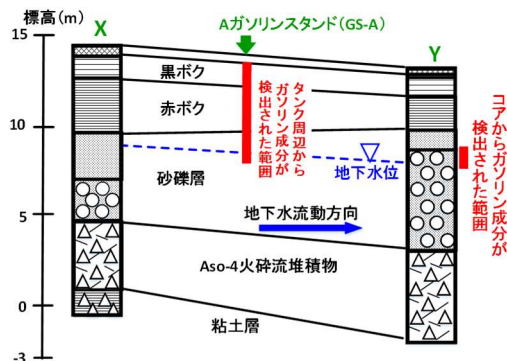


図2 汚染源付近の水文地質断面図
(津留³⁾を一部修正)

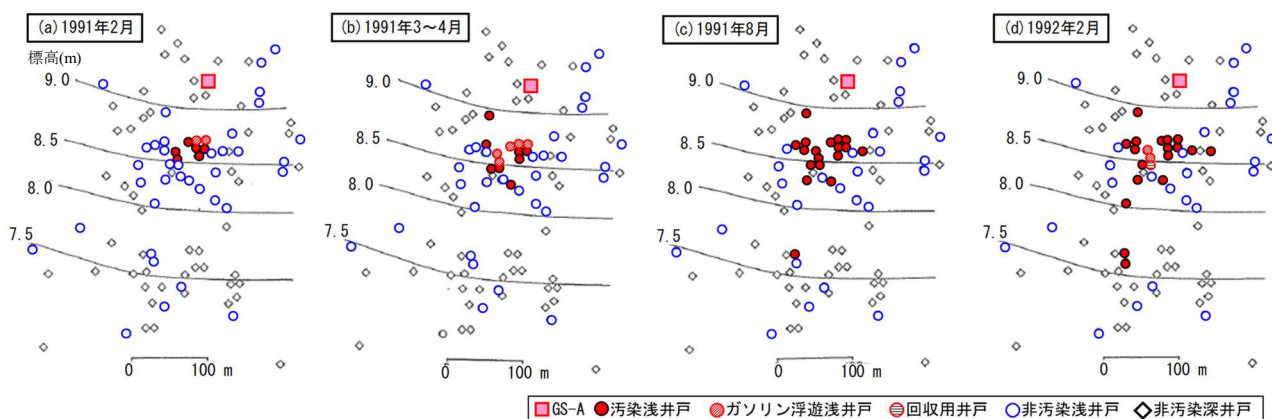


図3 ガソリン汚染井戸の分布の変化 (1991年2月～1992年2月) (中熊ら²⁾を一部修正)

北北東から南南西に流れており、汚染が発見された1991年2月には50m×50m程度であった地下水汚染範囲が半年後の8月には100×200m程度へと地下水流動方向に急速に広がったこと等が把握された。

このようにして把握された広域的な地下水汚染状況と潜在的汚染源周辺の表層土壌ガス検出状況から、汚染源が特定され、地下水汚染機構が解明された。

2.1.2 汚染源の特定と汚染源事業所内での調査^{2),3)}

GS-Aが汚染原因施設として疑われたが、貯蔵タンクの漏洩検査(加圧、微加圧)や入出荷量調査で漏洩を確認することができなかったことから、GS所有者は原因施設であることを認めなかった。そのため、汚染井戸に浮いたガソリンと各GSのガソリンに含まれる着色剤の分析が行われ、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)によるクロマトグラムのパターンから汚染井戸から採取したガソリンに含まれる着色剤と一致するものがGS-Aのガソリンのみであることが明らかとなり、GS-Aが汚染原因施設であると特定された。これを受けてGS-A施設内の調査が可能となり、GS-Aの所有者がガソリン貯蔵タンクを掘り上げたところ、タンク外側の防錆用コールタールの一部溶解およびタンク周辺の土壌からの高濃度のガソリン成分の検出が確認された。

以上の調査結果から、対象地域の地下水汚染は、地下タンクの注入口付近から漏洩したガソリンがそのまま地下に浸透して地下水面に到達し、地下水面上をその傾きに従って下流側に移動し、その過程で一部が地下水に溶解したものと推定された。

2.1.3 浄化対策^{2)~4)}

汚染が発覚した1991年2月から井戸の水面に油層が確認されなくなった5月まで、井戸からのガソリンの回収が行われ、6本の井戸から2,037Lのガソリンが回収された。油層は翌年以降も1~3月にかけて確認され、1996年度までに5時期にわたり合計3,730Lのガソリンが回収された。

汚染源でとなったGS-Aのタンク周辺のガソリン成分を含む土壌は、GS-A所有者により除去された。

地下水については、高濃度に汚染されていた既存井戸(井戸14)から揚水し、充填塔曝気方式の浄化装置を用いるかたちで、1992年2月から熊本市により浄化が行われた。地下水に溶解しやすいガソリン成分であるベンゼン、トルエン、キシレン(以下、まとめて「BTX」)が1993年には汚染源から約800m下流の地下水中でも観測されたが、その後、汚染範囲は縮小し汚染濃度も低下傾向を示した。

2.1.4 MNA への移行^{5)~7)}

浄化装置運転開始後約 10 年が経過した後も揚水井戸(井戸 14)の近傍では BTX が残存し、揚水により回収されるガソリン成分も減少したために効率的な浄化が困難になった⁵⁾。

そのため、汚染状況に合わせた新たな浄化対策として Monitored Natural Attenuation (MNA、科学的自然減衰)の導入が検討され、熊本市と国立環境研究所および土壤環境センターによる共同研究として、本サイトの帯水層における BTX の挙動と生物学的自然減衰の可能性についての包括的な調査が行われた。そして、2002 年 4 月に浄化装置を停止し、地下水の汚染状況を長期的に監視しながら浄化事業の収束を目指す MNA の適用が開始された。

図 4 に揚水井戸(井戸 14)におけるベンゼン濃度の変化を示す。地下水中のベンゼン濃度は浄化装置を停止するまではほぼ一定の半減期(1.25 年)で低下し、揚水停止後に濃度変動が大きくなったものの、長期的には浄化装置を停止する前とほぼ同様の半減期で低下していることが確認された。4 箇所の汚染井戸における 2002~2005 年度のベンゼン濃度の変化から、揚水停止後、各汚染井戸のベンゼン濃度が低下して 2005 年度には地下水環境基準(0.01 mg/L 以下)を超過する井戸が 2 箇所となっていることが確認され(図 5)、土壤中の微生物によりガソリンの分解が進んでいることが確認された。

この結果を受けて、2006 年度以降は自然減衰の状況を確認していくこととなった。汚染井戸およびその周辺井戸の 9~10 箇所を対象に継続されている MNA の監視の結果⁷⁾によると、2009 年度まではベンゼン濃度が地下水環境基準を超える井戸が 1~2 箇所みられたが、2010~2019 年度はすべての井戸で不検出となっている。

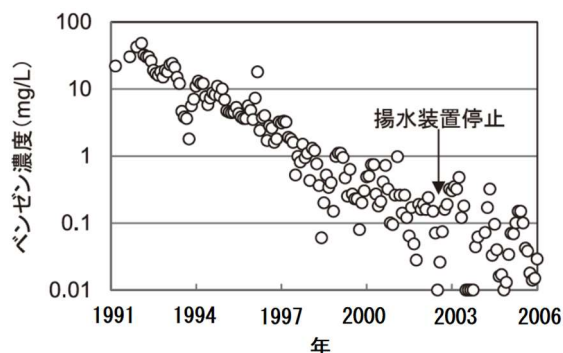


図 4 揚水井戸(井戸 14)におけるベンゼン濃度の推移(高畑⁵⁾を一部修正)

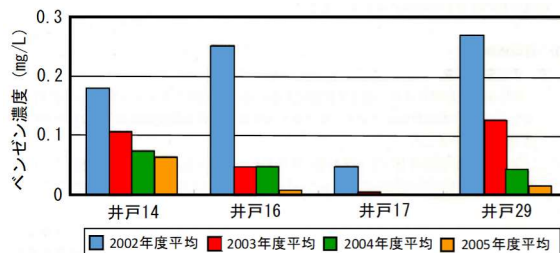


図 5 汚染井戸におけるベンゼン濃度の変化(熊本市環境総合センター⁶⁾を一部修正)

2.2 神奈川県秦野市の揮発性有機化合物による地下水汚染への対応事例

2.2.1 調査の契機⁸⁾

この事例では、1989 年 1 月に秦野盆地湧水群の代表的な地点である「弘法の清水」がテトラクロロエチレン(PCE)等に汚染されている(PCE 濃度は 0.034 mg/L)との写真週刊誌による報道があり、これを受けて秦野市が実施した水質検査で PCE が当時の水道水の暫定水質基準(0.01 mg/L 以下)を超える 0.021 mg/L 検出されたことが調査の契機となっている。

2.2.2 汚染実態調査^{8),9)}

地下水汚染の発覚を受けて、汚染実態調査として、全市的な汚染状況を把握するための市内の既存井戸・湧水を対象とした概況調査と、市民の健康被害を未然に防止するための個人井戸の多い盆地南部の地域を中心とした飲用井戸調査が実施された。

概況調査では、市内を 1 km メッシュに区切った 55 メッシュ 70 地点で PCE、トリクロロエチレン(TCE)および 1,1,1-トリクロロエタン(MC)を対象とした調査が行われ、13 地点で基準超過が確認された。図 6 は、概況調査のために設定された 1 km メッシュ、弘法の清水および地下水汚染地域の位置関係を示している。地下水汚染地域は、中央を南東方向に流れる水無川を中心に、PCE 等の使用事業所が集中している工業団地周辺から下流側兩岸の市街地まで、長さ約 7 km、幅 2~3 km、面積約 12 km²の範囲で生じていることが把握された。弘法の清水は地下水汚染地域の中心よりもやや下流側に位置している。

図 7 に秦野盆地の水文地質構造の模式図を示す。秦野盆

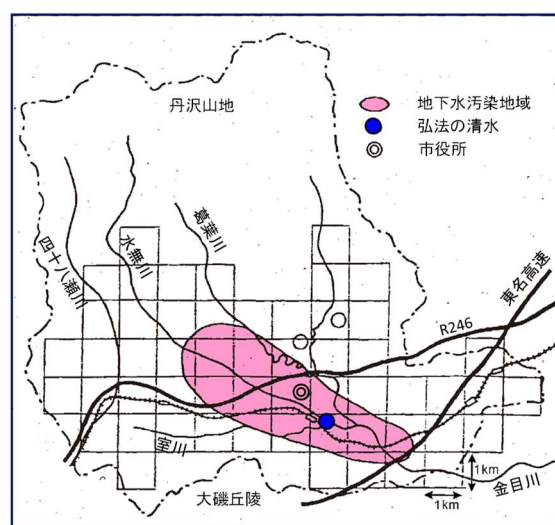


図 6 地下水汚染範囲と弘法の清水の位置(秦野市⁸⁾を一部修正)

地の帯水層は、不透水層である丹沢層群の上にある水無礫層 (G_1)、水神礫層 (G_2 、 G_3)、秦野層 (G_4 、 G_5 、 G_6) からなっており、これらの礫層の間に部分的にロームが分布している。汚染物質は地表から地下水のある礫層まで上流側でほぼ垂直に降下し、地下水の流れに沿って移動しながら、あまり横方向には広がらずに難透水層（ローム層）の層厚の薄いところや切れ目から下位の帯水層（礫層）まで移動している。地下水は通常は G_2 層に存在するが、上流側の工業地帯では G_2 層の地下水が年間のほぼ半分汲水するため、汚染地下水は上流側で G_3 層まで降下し、 G_3 層を主たる汚染経路として水無川の左岸、右岸をそれぞれ移動している。 G_4 層の汚染地下水は水無川の左岸および右岸を流れて盆地中央部付近で合流し、盆地南部の湧出域で湧出していると推定された。

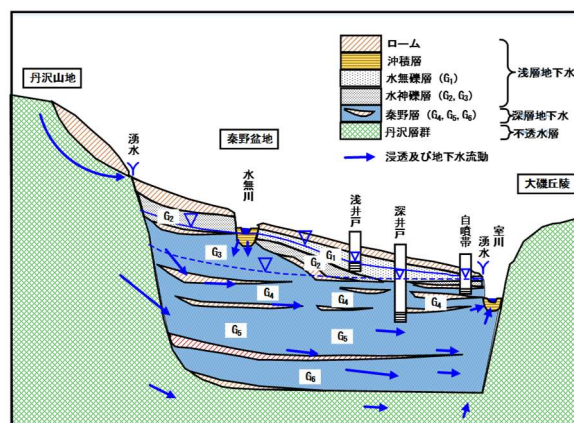


図7 秦野盆地の水文地質構造の模式図⁹⁾

飲用井戸調査では、飲用井戸・湧水 256 地点で調査が実施され、28 地点で基準超過が確認された。概況調査と飲用井戸調査の結果を合わせると、既存井戸・湧水 326 地点中 41 地点で基準超過が確認され、飲用井戸については最終的に 287 地点で調査が行われ、54 地点で基準超過が確認された。

その後、ジクロロエチレン (DCE) 3 物質 (1,1-DCE、cis-1,2-DCE、trans-1,2-DCE) を測定項目に加えて行われた 1990 年 8 月の地下水の定期モニタリングにおいて 1,1-ジクロロエチレン (1,1-DCE) が 20 地点中約半数の地点で検出され、1991 年 1~2 月に行われた 1,1-DCE の調査において過去の調査で TCE 等 3 物質のいずれかが検出された井戸 102 地点中 26 地点で 1,1-DCE が WHO のガイドライン値 (0.0003 mg/L) を超過していることが確認された。

2.2.3 健康被害対策⁸⁾

飲用井戸調査の結果を受けて、飲用水を地下水のみに依存しており、TCE 等 3 物質 (TCE、PCE、MC) のいずれかが暫定水質基準を超過していた世帯 (23 件 33 世帯) に対して、緊急対策として、市費での市営水道への切替工事および秦野市と秦野保健所による飲用指導が行われた。その後、DCE の調査で WHO ガイドライン値を超過した専用井戸 (10 件、12 世帯) に対しても、同様の対応が行われた。

2.2.4 未然防止対策⁸⁾

市長の附属機関として 1989 年 10 月に設置された「秦野市地下水汚染対策審議会」より 1990 年 6 月に今後の地下水汚染対策の進め方についての第一次答申が出され、市が早急に着手すべき施策として未然防止、汚染機構の解明、健康調査の 3 項目が挙げられた。

1990~1992 年度に実施された未然防止対策では、使用実態の把握、立入検査、公害防止協定の締結、地下水定点監視が行われた。使用実態の把握では、1989 年 3 月に製造業およびサービス業 (普通洗濯業のみ) 582 社に対して TCE 等 3 物質の使用の有無についてのアンケート調査が行われ、79 社 (従来からの把握済事業所 45 社を含む) で TCE 等が使用されていることが把握された。秦野市による立入検査では、TCE 等 3 物質の使用事業所に対して、これらの物質の適正利用・管理の指導および定期的な排水調査、排ガス調査が実施された。公害防止協定の締結では、地下水を良好な状況に回復させ、保全することを目的とした「地下水質の保全に関する協定」の締結交渉が 1991 年 3 月より開始された。地下水定点監視では、市内全体の汚染状況を把握するため、既存井戸・湧水 20 地点を対象に、1989 年度から年 4 回の定点モニタリング調査が開始された。

2.2.5 地下水汚染機構解明調査および事業所内の土壌・地下水汚染調査⁸⁾

地下水汚染地域全体の地質構造、帯水層の分布、汚染経路等を解明するため、1990~1993 年度に地下水汚染機構解明調査として、フィンガープリント法による調査 (表層土壌ガス調査) およびボーリング調査が行われた。フィンガープリント法による調査は、水無川の左岸 2.5 km² を神奈川県が、右岸 5.0 km² を秦野市がそれぞれ分担し、200 m メッシュに区切った交点付近 194 地点で行われた。この調査では使用事業所周辺や地下水湧出域の地点で高濃度の TCE 等が検出された。続いて、地質構造、帯水層の分布、汚染の経路等を解明するために、水無川の左岸 15 地点 22 本、右岸 16 地点 22 本地点のボーリング調査 (深さ 7 m 級~80 m 級) が行われた。

また、地下水汚染機構解明調査と並行して、1990~1991 年度に TCE 等の使用事業所および過去使用事業所 103 社 (使用中 64 社、過去使用 39 社) において検知管法による表層汚染スポット調査 (事業所の敷地を 10 m 前後のメッシュに分割した交点で実施) およびボーリング調査が行われ、61 社の敷地で土壌の汚染が確認された。その後、1994 年 6 月に「秦野市地下水汚染の防止及び浄化に関する条例」 (以下「条例」) が施行され、

対象物質が TCE 等 3 物質から揮発性有機化学物質 11 物質に拡大されたため、関連する事業所が増加し、現在は 133 社（使用事業所 53 社、過去使用事業所 80 社）となっている。

条例施行後は、事業所敷地内調査として、秦野市による基礎調査（表層汚染調査、ボーリング調査）および事業所による詳細調査が行われた。基礎調査は 1994 年度中に調査対象 63 社についてすべて終了し、詳細調査は 1996 年度中に対象事業所 45 社すべてについて着手された。その後、2012 年度に基礎調査が実施された対象事業所 1 社について、2013 年度に詳細調査が実施されている。

2.2.6 汚染源対策^{8),9)}

1993 年度に、県費補助事業として電気探査（33 地点）およびボーリング調査（1 本）が行われ、地下水汚染機構解明調査の結果と合わせて、地下地形の総合解析が行われた。この総合解析の結果を受けて、秦野市が地下水の浄化事業を最も効率的に行うことができる候補地が選定された。

事業所内での浄化事業は、1996 年度中に対象事業所 45 社について全て着手され、2013 年度に詳細調査が実施された対象事業所 1 社については 2014 年度に着手された。浄化事業が行われた 46 社の内、39 社（85%）の浄化事業がこれまでに終了している。

表 1 に、浄化事業対象事業所内での浄化方法別の延べ件数を示す。浄化対象事業所 95 社（延べ数）のうち 77 社（82%）で原位置土壌ガス吸引が用いられ、7 社（7%）で地下水の揚水処理が用いられている。これらの浄化方法により回収された汚染物質（TCE 等 3 物質）の総量は 1998 年 1 月末の段階で 13,500 kg を超え、2019 年末には 20,756 kg に達している。これらの汚染源対策の実施により、浄化事業実施事業所直下の地下水の水質は急激に改善された。

表 1 浄化方法別の浄化事業実施事業所数

| 浄化方法 | 実施事業所数(社) |
|--------------|-----------|
| 低温加熱処理 | 3 |
| 土壌封じ込めガス吸引処理 | 2 |
| 産廃処理 | 6 |
| 原位置ガス吸引処理 | 77 |
| 揚水処理 | 7 |
| 計 | 95 |

2.2.7 下流側での地下水揚水・還元事業^{8),9)}

浄化事業の実施により浄化事業実施事業所直下の地下水の水質は急激に改善されたが、地下水の流れは大変遅く、上流域の改善効果が下流域に及ぶのに 10 年余りかかると試算されるため、地下水の水循環を早める浄化事業が不可欠となり、1996 年度に地下水揚水・地中還元事業（地下水の人工透析）の実証試験が行われた。この実証試験の結果を受けて、1997 年度には水無川左岸の氾濫原に、1998 年度には水無川右岸にそれぞれも装置が設置され、計 3 地点で地下水揚水処理・地中還元事業が行われた。その後、2007 年度には、神奈川県による交付金（その後、補助金）を活用して水無川左岸側の第 4 礫層（G4）に滞留する汚染地下水を浄化するための地下水揚水・地中還元装置が 3 基設置され、2019 年度末までに約 66 kg の VOC が回収されている。

2.2.8 健康調査⁸⁾

1990 年度以降、健康調査が継続して行われた。健康調査で蓄積されたデータは地下水汚染対策審議会の委員でもある専門家により解析された。1994 年 11 月には、汚染地下水利用者の多い地区と他の地区でがんの発生率等に差異がないことから TCE 等を飲用したことによる健康影響は認められないと結論付けられた。

2.2.9 秦野盆地湧水群の「名水復活宣言」

図 8 に、弘法の清水における PCE 濃度の変化を示す。弘法の清水の PCE 濃度は、地下水揚水・地中還元事業（地下水の人工透析）の実証試験が行われた 1996 年頃から急激に低下し、2002 年 1 月には地下水浄化目標値である 10 μg/L (=0.01 mg/L) を達成し、その後も安定して推移している。

このような状況を受けて、2004 年 1 月 1 日に秦野盆地湧水群の「名水復活」が宣言された。その後、2018 年 11 月に行われた事業所敷地外のボーリング観測井（左岸 16 地点 26 本、右岸 16 地点 22 本）の水質調査結果¹⁰⁾では、左岸の 2 地点 3 本の PCE（0.017～0.019 mg/L）のみ浄化目標値を超過していた。また、市内の湧水・既存井戸の 20 地点 21 箇所における 2019 年 11 月の定点モニタリング調査の結果⁹⁾では、1 地点 2 箇所の PCE（0.011～0.016 mg/L）のみ浄化目標値を超過していた。

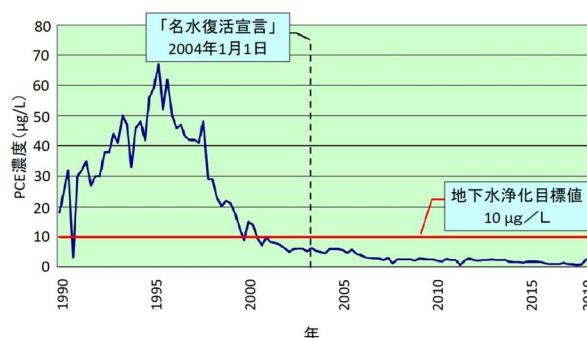


図 8 弘法の清水の PCE 濃度の変化
（秦野市⁹⁾を一部修正）

3. 成功事例（グッドプラクティス）として評価できる点 熊本市の事例は、①汚染物質であるガソリンの性状の

違いに注目して地下水汚染源であるガソリンスタンドを科学的に特定し、広域的な地下水汚染状況および水文地質状況を把握して地下水汚染機構を解明していること、②地下水揚水処理による浄化対策の効果が低下した時点で新たな浄化対策工法として MNA の適用性について科学的に調査・検討した上で MNA を適用して、既に下流側に広がった地下水汚染の解消も果たしていることから、グッドプラクティスとして評価できると考えられる。

秦野市の事例は、①広域的な地下水汚染状況および水文地質状況の把握と並行して PCE 等の使用履歴のある事業所の土壌汚染状況を把握して潜在的な地下水汚染源を全て把握していること、②顕在化した地下水汚染に対する浄化対策とともに潜在的な地下水汚染源である土壌汚染についても浄化対策を行い地下水汚染の未然防止を図っていること、③既に下流側に広がった地下水汚染に対しても浄化に取り組み成果を上げていることから、グッドプラクティスとして評価できると考えられる。

これらの事例では、いずれも、地下水汚染の発見を契機に地下水汚染状況と水文地質構造を把握して地下水汚染機構が解明され、顕在化したあるいは潜在的な地下水汚染源を特定して汚染源対策を行うとともに、地下水汚染ブルームをなくすための対策まで講じられている。汚染源対策を行うところまでは一般的に行われていた地下水汚染調査・対策の流れであるが、その後の地下水汚染状況の変化を監視するだけでなく、地下水汚染の解消に向けた対応がとられている点に特徴がある。こうした点は、土壌・地下水汚染を総合的に捉えることの有効性を示唆している。

4. 土壌・地下水汚染の総合的な対応に向けての課題

2003 年に土壌汚染対策法が施行されて以降、わが国の土壌・地下水汚染対策の中心は土壌汚染地の現況を把握し、把握された土壌汚染を原因とする潜在的な地下水汚染により人に健康被害を生じさせることがないように土壌汚染対策を講じるというかたちが一般的となった。また、地下水汚染が発見された場合の対応としては、汚染地下水の飲用による人の健康被害のおそれが顕在することが確認された場合は水質汚濁防止法第 14 条の 3 に基づく浄化命令で対応し、潜在することが確認された場合は土壌汚染対策法第 5 条第 1 項の調査命令で対応することとなっている。これらの対応で行われるのはいずれの場合も人の健康被害のおそれをなくすために飲用井戸等に地下水汚染が到達するのを防止するための対策である。そして、汚染源である土地の敷地外に地下水汚染ブルームが広がっている可能性がある場合には、水質汚濁防止法に基づき国および地方公共団体が行う地下水の常時監視において、汚染井戸周辺調査を実施して地下水汚染範囲を確認し継続監視調査により浄化対策による地下水汚染の改善効果の確認や地下水汚染状況の推移の監視が行われる仕組みとなっている¹¹⁾。

今後、このような対応の枠組みで土壌・地下水汚染に総合的に対応することが可能かについて検討し、課題となる事項を抽出して解決策を検討することが必要であると考えられる。また、汚染源対策が行われた後、敷地外に広がった地下水汚染ブルームの汚染状態が長期間にわたって改善されないケースに対してどのように対応すべきかということや、人が汚染地下水を飲用等する可能性がなければ敷地外で地下水汚染が広がっていくことを問題視しなくてよいのかということ等について検討していくことも必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木弘明・中島誠・菊池毅・日笠山徹巳・門間聖子：土壌・地下水汚染の総合的な対応に関する検討分科会 (2019)：大規模地下水汚染の事例と特性。第 25 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 331-336.
- 2) 中熊秀光 (1994)：ガソリンによる地下水汚染, 水環境学会誌, Vol.17, No.5, 315-323.
- 3) 津留靖尚 (2004)：土壌・地下水汚染事例 熊本市, 環境浄化技術, Vol.3, No.9, 8-12.
- 4) 高畑 陽・帆秋利洋・笠井由紀・渡辺一哉 (2004)：ガソリン汚染地下水における BTX の自然減衰評価, 大成建設技術センター報, No.37, 111-116.
- 5) 高畑 陽 (2013)：ベンゼン汚染土壌・地下水の好氣的及び嫌氣的バイオレメディエーション技術の開発, 環境バイオテクノロジー学会誌, 113(2), 111-116.
- 6) 熊本市環境総合センター (2006)：熊本市環境総合センター年報, No.13, 30.
- 7) 熊本市環境総合センター (2007~2019)：熊本市環境総合センター年報, No.14-26.
- 8) 秦野市環境部 (1998)：改訂版 名水「秦野盆地湧水群」の復活に向けて, 236p.
- 9) 秦野市 (2020)：公害対策等の概況 令和 2 年度版 (2020 年度版), 80p.
- 10) 秦野市 (2019)：公害対策等の概況 令和元年度版 (2019 年度版), 75p.
- 11) 環境省水・大気環境局地下水・地盤環境室 (2008)：地下水質モニタリングの手引き. 55p.